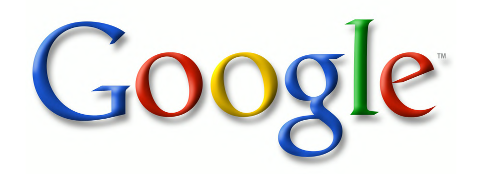




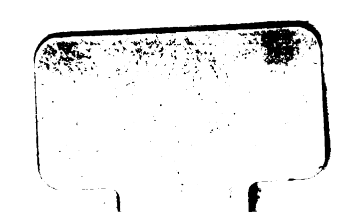
Die Entstehung der Kontinente, der Vulkane und Gebirge.

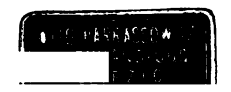
Von

P. Osw. Köhler,
Ingenieur.

Mit zwei Abbildungen im Text.

Leipzig
Verlag von Wilhelm Engelmann
1908.







Die Entstehung
der
Kontinente, der Vulkane und Gebirge.

Von

P. Osw. Köhler,
Ingenieur.

Mit zwei Abbildungen im Text.

Leipzig
Verlag von Wilhelm Engelmann
1908.

Druck von A. Hopfer in Burg b. M.

Inhalts-Übersicht.

Vorbemerkung.

Die nachstehende kleine Arbeit soll hauptsächlich dazu dienen, die Frage der Entstehung der Gebirge und der Erdteile, soweit es auf dem Wege der Lehre und der begründeten Hypothese möglich ist, von neugewonnenen Gesichtspunkten aus zu beantworten.

Wenn man in wissenschaftlichen Darlegungen untergeordnete Einzelheiten der Forschung beiseite läßt und in erster Reihe nur Hauptfragen behandelt, so versetzt man sich von vornherein in eine merkwürdige Situation. Es ist zur Gewohnheit geworden, vorzugsweise den Detailforschungen ein gewisses Verdienst, einen Arbeitswert a priori zuzuerkennen, und die Leistungen auf dem Gebiete der Unter- und Nebenfragen werden durchschnittlich für wichtiger angesehen, als Abhandlungen über fundamentale Probleme. Dieser Zustand im wissenschaftlichen Leben wurde ohne Zweifel veranlaßt durch die bekannte Tatsache, daß die kleinsten Dinge und Details einer Wissenschaft in der Regel *nur* von den tief in dieselbe eingedrungenen Fachgelehrten behandelt werden können, während die Amateure und die Halbwissenden sich meist über die größeren und größten Fragen zu verbreiten pflegen. Andererseits kann Niemand leugnen, daß die wirkliche Förderung eines Erkenntnisgebiets — abgesehen von Entdeckungen auf dem Felde des Experiments — meistens nur von solchen Arbeiten ausging oder veranlaßt wurde, welche die Grundlagen und Hauptfragen desselben zum Gegenstande neuer Untersuchungen machten.

Es erscheint somit berechtigt, wie es hier geschieht, auch die großen Probleme einer Wissenschaft zu erörtern, namentlich wenn dabei feststehende Ergebnisse derselben als Grundlage weiterer Forschungen benutzt werden, statt, was in der wissenschaftlichen Literatur öfters vorkommt, alle Errungenschaften außer acht zu lassen und eine „Umwälzung“ des betreffenden ganzen Wissensgebiets als bevorstehend anzukündigen.

Liegnitz, im Februar 1908.

Der Verfasser.

1. Einleitung.

Die wichtige Frage, wie die Erhebungen der Oberfläche unseres Planeten, wie die Inseln, Kontinente und Hochebenen entstanden sind, was für Gewalten es gewesen, die das Land vom Wasser geschieden, vulkanische und plutonische Gesteinmassen aus den heißen Tiefen heraufgetrieben, Felsen- und Gebirgszüge bis zu Wolkenhöhen aufgetürmt haben, ist bisher nicht befriedigend beantwortet worden.

Die Gebirge kennzeichnen sich durch ihren Zusammenhang mit den Tiefen der Erde als echte Erzeugnisse der Erde selbst. Mit den Gebirgen aber sind wiederum die aufgetriebenen Tafeln der Kontinente, wie bekannt, vielfach geologisch wie geographisch innig verbunden und fast organisch verwachsen. Man darf daher die Annahme, daß die Erdteile etwa unmittelbare Folgen kosmischer Aufstürze darstellen (Aufstürze ehemaliger Monde, welche die Erde früher umkreist haben könnten), wohl ausschließen. Man wird daher schon aus diesem Grunde mit großer Wahrscheinlichkeit annehmen dürfen, daß zwischen der Bildung der Gebirge und derjenigen der Kontinente ein gewisser Zusammenhang besteht.

Es lassen sich in der Geologie, was die in Rede stehende Frage betrifft, zwei Hauptrichtungen der Erklärungen unterscheiden, eine ältere und eine neuere. Nach der Lehre der älteren Richtung haben wir sowohl in den Kontinenten, als auch in den Gebirgen, Auftreibungen der Erdoberfläche und der Erdkruste, hervorgerufen durch gewisse vom Erdinnern her wirkende, örtlich hebende und auftreibende Kräfte, zu sehen. Hutton, Playfair, Leopold v. Buch und andere Forscher waren auf Grund ihrer Wahrnehmungen und Studien zu der Ansicht gelangt, daß jene Kräfte, welche sich in den Ausbrüchen der Vulkane kundgeben, auch die Faktoren des Aufbaues der Gebirge, der Inseln und

der Kontinente seien. Eine ganz allgemeine Betrachtung des augenscheinlichen Zusammenhanges zwischen dem Vorkommen vulkanischer und plutonischer Massengesteine und der geographischen Lage der großen Gebirge und ihrer Streichungsrichtungen schon mußte zu diesen Ansichten führen. Doch auch die Tatsachen der Verwerfungen und Erhebungen sedimentärer Schichtensysteme in Gebirgsgegenden konnten als Belege für die gedachte Lehre betrachtet werden. Vor allem war von ausschlaggebender Bedeutung, daß sämtliche Gebirge, deren Kernmassive aus Granit und andern alten Massengesteinen bestehen, die anliegenden Sedimente gehoben, aufgerichtet oder verworfen zeigen. Da nun die älteren Massengesteine hinsichtlich ihrer Struktur, Zusammensetzung und Lagerungsweise von den Basalten, den Trachyten und andern vulkanischen Gesteinen nicht scharf abzusondern sind, daß vielmehr allerlei Übergänge zwischen den alten und den jüngsten Massengesteinen bestehen, so stellte sich die vulkanistische oder plutonistische Erklärung der Gebirge und Inseln als eine durch die Tatsachen selbst geforderte dar.

In gewisser Übereinstimmung damit bewegten sich die Resultate der Arbeiten über die Bildung der Kontinente. Als Leopold v. Buch die wichtige Tatsache (1807) festgestellt hatte, daß sich die skandinavische Halbinsel, besonders der nördliche und mittlere Teil, in den letzten Jahrhunderten um beträchtliche Höhen gehoben habe, führten weitere wichtige Untersuchungen zur Kenntnis der allgemeinen Wandelbarkeit der Erdrinde und der Kontinente, und in Verbindung mit den vulkanistischen Theorien zu der Anschauung, daß aktive Faktoren, innere Kräfte des Erdballs, bei der Bildung der kontinentalen Auftreibungen gewirkt haben, deren Erlahmen und Erlöschen wiederum Rückbildungen ermöglichten.

So konnte sich die vulkanistische bzw. die plutonistische Erklärung der Gebirge und Erdteile Bahn brechen, und sie wurde in der Tat um die Mitte des neunzehnten Jahrhunderts bei den Geologen nahezu die herrschende, wenigstens bei denjenigen, die sich mit diesen Hauptfragen beschäftigten. Auch Männer wie Alexander v. Humboldt, der auf fast allen Gebieten der Naturforschung mit Erfolg tätig war und ohne Voreingenommenheit die Wahrheit suchte, schlossen sich den vulkanistischen Geologen an.

Nun machte sich nach und nach eine neue Richtung geltend. Favre, Dana, Baltzer, Sueß, Heim u. a. vertreten, wie bekannt, die Ansicht, daß die vulkanischen und plutonischen Kräfte der Erde wenig oder gar nichts mit der Bildung der Kontinente und der plutonischen Gebirge zu tun haben, daß diese Bildung vielmehr auf einem Vorgange beruhe, bei welchem das Innere der Erde sich rein passiv verhält. Nachdem Elie de Beaumont die Behauptung aufgestellt hatte, daß sich das Innere der Erde bei dem Prozesse der säkularen Abkühlung des Ganzen stärker zusammenziehe, als die sogenannte Kruste, wurde im letzten Viertel des verflossenen Jahrhunderts die Frage der Entstehung der Gebirge und der Kontinente, kurz zusammengefaßt, folgendermaßen beantwortet:

Mit fortschreitender Abkühlung des heißen und glühenden Erdinnern verkleinert sich dasselbe. An dieser Verkleinerung nimmt die Kruste der Erde, weil sie bereits erstarrt ist, sich also nicht weiter oder nicht mehr in dem Maße, wie das Innere, zusammenziehen kann, nicht teil. Diese äußere Hülle des Erdballes wird also mit der Zeit relativ für das Innere zu weit oder zu groß. Sie muß sich daher falten oder runzeln wie die Schaale eines vertrocknenden Apfels. So entstehen die meisten Gebirgsketten, die Faltengebirge. Die zu weit gewordene Erdrinde muß ferner stückweise, bald hier, bald da, gegen den Erdkern hin absinken. Derartige abgesunkene Teile der Erdrinde, „Senkungsfelder" genannt, haben wir in den Meeresgründen und in manchen Tiefebenen vor uns, während die stehengebliebenen Schollen uns als Kontinente, auch als Schollen-, Tafel- und Horstgebirge, oder als Hochebenen erscheinen.

Die Erhöhungen auf der Erde, die meisten Gebirge sowohl, als auch die Plateaus der Länder, sind nach dieser Lehre nicht als aktive Wirkungen des heißen Innern, sondern als Folgen des allmäligen Zusammenbruches der Rinde zu betrachten. Der glühende oder glühendflüssige „Kern" der Erde hätte sich also bei der Bildung jener Erhöhungen rein passiv verhalten. Es erscheint daher zulässig, die Vertreter und Anhänger dieser Lehre unter der Bezeichnung „Passiv-Plutonisten" zusammenzufassen, wie es hier geschehen soll. Die Bildung der Kontinente und der Meeresgründe, wie der meisten Gebirge, ist nach diesen

Ansichten ein rein „tektonischer“ Vorgang, worunter ein Prozeß der Veränderungen der Erdoberfläche verstanden wird, bei welchem sich die Decke der Erde, ohne aktive Mitwirkung des heißen Innern, durch einfache Veränderungen der Lage der einzelnen Teile, gestaltet und zurechtlegt. Die Plateaus der Erdteile erklärt man außerdem auch für bloße Häufungen ältester, alter und neuerer Gebirgsfalten in ihren verschiedenen Stadien des Aufbaues und der Abtragung, mithin für Anhäufungen von Gebirgsresten verschiedenster Erdperioden [1]). Alle Beobachtungen und Anzeichen von ausgedehnteren positiven Hebungen von Ländern und Meeresgründen werden als fehlerhaft oder als Täuschungen bestritten oder angezweifelt. Um sich die Schichtung der Sedimente und die Strandlinien an erhobenen Küsten zu erklären, hat Sueß die Möglichkeit ins Auge gefaßt, daß die Wasserhülle der Erde abwechselnd an den Polen und am Äquator anschwelle und sich häufe.

Eine wichtige Rolle in den passivplutonistischen Erklärungen spielen die „Bruchlinien“, jene Grenzen zwischen den „Senkungsfeldern“ und den stehengebliebenen Schollen, längs welchen die „abgesunkenen“ Gebiete der Erdrinde von den stehengebliebenen abgebrochen erscheinen. Diese „Bruchlinien“, die in vielen Fällen mit den Küsten der Meere und Ozeane zusammenfallen, bilden nach Sueß und den übrigen Vertretern jener Lehren die Vorbedingung oder wenigstens die günstigste Gelegenheit für vulkanische Durchbrüche und Auftreibungen, weshalb die meisten Vulkane in Ketten und Reihen an den Küsten der Kontinente oder in deren Nähe vorkommen.

Die hier in wenigen Sätzen skizzierte passivplutonistische Lehre gibt eine so plausible Erklärung der Erdteile, Gebirge und Vulkane, daß die große Mehrheit der Geologen sich veranlaßt sah, auf ihre Seite zu treten, und zahlreiche Anhänger derselben haben eine Menge Einzeltatsachen der dynamischen und der architektonischen Geologie mit ihr in Beziehung gebracht und als Beweise dafür hingestellt. Schließlich operierten die meisten Geologen mit den Begriffen der „Senkungsfelder“, der „Bruchlinien“ und „Schollen“ wie mit völlig erwiesenen Tatsachen.

---

[1]) Prof. Dr. Melchior Neumayr, „Erdgeschichte“ I, Leipzig 1887, Seite 366.

Meine eigenen Untersuchungen und Studien führten mich jedoch zu dem Schluß, daß die passivplutonistische Lehre in allen wesentlichen Punkten ein Irrtum ist.

Jeder vorurteilsfreie Forscher wird mir zustimmen, wenn ich sage: Die jetzige Stellungnahme der Mehrzahl der Geologen kann und darf uns nicht abhalten, auf die Unrichtigkeit der gedachten Theorien hinzuweisen, wenn neugewonnene Einsichten dazu Anlaß geben. Ich stelle zunächst einige Behauptungen auf, die ich unmittelbar anschließend beweisen will.

1. Die theoretische Grundlage der passivplutonistischen Lehre, nämlich die Annahme, daß sich das Innere der Erde stärker zusammengezogen habe, als die Kruste, ist falsch.

2. Der Begriff der „Tiefe", wohin die „Senkungsfelder" abgesunken sein sollen, ist ein imaginärer, d. h. eine solche „Tiefe" ist niemals vorhanden gewesen.

3. Die Lehren von oben stehengebliebenen kontinentalen Schollen widersprechen allen festbegründeten Ergebnissen der Statik.

* * *

Zwei Hypothesen bzw. wissenschaftliche Feststellungen bilden die Voraussetzung für gegenwärtige Abhandlung sowohl, wie auch für die Lehren der Passivplutonisten, nämlich die folgend genannten: 1. Es hat eine säkulare Abkühlung der Weltkörper, insbesondere der Erde, stattgefunden, und sie geht noch weiterhin vor sich. 2. Das Innere besitzt noch gegenwärtig eine ungleich höhere Temperatur, als das Äußere.

Schon eine allgemeine Betrachtung dieser beiden Feststellungen führt zu der Ansicht, daß — bisher wenigstens — nicht das Innere der Erde, sondern ihr Äußeres, die Kruste, den stärksten säkularen Wärmeverlust erlitten habe. Es kann hieraus keine andere Folgerung gezogen werden. Wenn zwei Körper ursprünglich gleiche Temperatur besaßen, so muß sich nach Ablauf einer gewissen Zeit derjenige von beiden stärker abgekühlt haben, welcher die niedrigere Temperatur zeigt. Nimmt man an, daß ursprünglich das Innere und die Kruste gleiche Temperatur hatten, so muß die Kruste, da sie jetzt der kältere Teil von

beiden ist, mehr Wärme verloren haben, als das Innere. Zu demselben Resultat führt natürlich auch der Weg der Rechnung.

Denken wir uns den Erdball zerlegt in eine äußere Hohlkugel von 30 Meilen Wandstärke und einer Dichtheit von 2,6, und in einen kugelförmigen Kern von 1656 Meilen Durchmesser und einer Dichtheit von 5,7, ferner beide Körper in die gleiche Temperatur von (beispielsweise) 10000 Grad und unter die gleichen Verhältnisse der Abkühlung gebracht, so ergibt sich, daß sich die Temperatur der Hohlkugel, also der Schale, um ungefähr 7050 Grad vermindert, wenn die Innenkugel 500 Grad verliert. Eine Hohlkugel von 1716 Meilen äußerem Durchmesser (mittlerer Erddurchmesser) und 30 Meilen Wandstärke besitzt einen kubischen Inhalt von ungefähr 272 Millionen, die Innenkugel bei 1656 Meilen Durchmesser (mittlerem Erddurchmesser weniger 2×30 Meilen) 2378 Millionen Kubikmeilen. Der Durchmesser einer Vollkugel von 272 Millionen Kubikmeilen Inhalt ist ungefähr 804 Meilen; deren Oberfläche berechnet sich zu ungefähr 2030000 Quadratmeilen, also dem 0,219fachen der wirklichen Außenfläche der Hohlkugel gleichen Inhalts, welche ungefähr 9260000 Quadratmeilen beträgt. Die Abkühlungszeiten zweier Kugeln sind unter sonst gleichen Verhältnissen ungefähr proportional ihren Durchmessern, und ich setze hier weiter der Einfachheit wegen voraus, daß auch die Temperaturerniedrigungen in gleichen Zeiten umgekehrt proportional den Durchmessern seien. (In Wirklichkeit geht die Temperaturerniederung bei der kleineren von zwei Kugeln etwas langsamer vor sich, als es dem kleineren Durchmesser entspricht. Jedoch ist die Abweichung nicht erheblich.) Unter dieser Voraussetzung ergibt sich der Temperaturverlust der äußeren Hohlkugel, diese zur Vollkugel verkleinert, zu ungefähr 1030 Grad, wenn die Innenkugel 500 Grad verliert ($500 \times \frac{1656}{804}$). Die gedachte Kugelschaale hat aber eine größere äußere Oberfläche, als die Vollkugel gleichen Volumens. Da nun die Temperaturverluste bei zwei Körpern unter sonst gleichen Umständen ungefähr proportional ihren Oberflächen sind, so ergeben sich als Temperaturverlust bei der Kugelschale $1030 \times \frac{9\,260\,000}{2\,030\,000}$ = ungefähr 4700 Grad, wenn die Innenkugel 500 Grad verliert. Weiter sind die Temperatur-

verluste zweier Körper unter sonst gleichen Verhältnissen umgekehrt proportional den Quadratwurzeln ihrer Dichten [1]). Die Quadratwurzeln aus 5,7 und 2,6 sind ungefähr 2,4 und 1,6. Die Abkühlung der Schale ergibt sich jetzt zu $4700 \times \frac{2,4}{1,6}$ = ungefähr 7050 Grad, wenn die Innenkugel 500 Grad verliert, wie vorhin angegeben wurde.

Es zeigt sich also, daß die Schaale der Erde eine ungleich größere Abkühlung in einer gewissen Zeit erleidet, als der Erdkern, wenn beide Teile unter gleiche Verhältnisse der Abkühlung gebracht werden.

Nun ist die Annahme, daß sich beide Teile der Erde unter gleichen Verhältnissen der Abkühlung befinden, nicht richtig. Die Innenkugel wird von der Schaale umschlossen. Dieser Umstand bedingt für die Innenkugel noch geringere Abkühlung (weil sie von der warmen und lockeren Schaale umschlossen ist), für die Schaale einen Zuwachs an Wärme, der von ihrem eigenen Verluste in Abzug kommt. Nimmt man an, daß die Temperaturerniedrigung bei der Innenkugel in einer gewissen Zeit zufolge der Umschalung statt 500 Grad nur 300 Grad beträgt, und ferner, daß von der durch diese 300 Grad bezeichneten Wärmemenge die volle Hälfte in der Schaale verbleibt, statt mit ausgestrahlt zu werden, so beträgt der Verlust an Temperatur bei der Innenkugel 300 Grad, während die Schaale 7050 weniger 150 Grad = 6900 Grad, also trotz des Zuwachses von ein halb des Verlustes des Innern das Dreiundzwanzigfache verliert.

Bei diesen Rechnungen ist von Einfluß, welche Stärke man für die Schaale annimmt. Bei geringerer Stärke als 30 Meilen ergeben sich noch größere Unterschiede.

Diese Resultate, die nicht ziffermäßig genau, aber im wesentlichen unumstößlich sind, stehen im Einklange mit der Tatsache, daß das Innere der Erde heute heißer als die Schaale ist.

Nun kann noch der Einwand gemacht werden, daß bei der Berechnung des Wärmeverlustes nicht von dem Urzustande gleicher Temperaturen beim Innern und bei der Schaale, sondern

[1]) Nach Versuchen, die ich vor Jahren zum Zweck der Ermittelung der Abkühlungsgesetze anstellte, wobei ich die übrigen hier benutzten, schon bekannt gewesenen Abkühlungsregeln bestätigen konnte.

von dem jetzigen Zustande oder von einem jüngeren Erdalter mit ungleichen Temperaturen ausgegangen werden müsse. Würde die Erdrinde völlig erkaltet sein und nur das Innere noch Wärme besitzen, so würde auch das Innere nur allein Wärme verlieren können und verlieren, sich folglich auch allein noch zusammenziehen.

Von zwei Körpern kann sich in der Regel nur der weniger dichte, der porösere, am stärksten zusammenziehen. Da das Innere der Erde ungleich dichter ist, als die Kruste, so wird letztere dem Kern um so leichter in der Zusammenziehung ohne Faltung folgen können, als ein großer Teil der vom Innern ausfließenden Wärme die Kruste nur passiert, nicht von dieser zurückgehalten oder aufgenommen wird. Auf Grund der Tatsache, daß die Erdrinde ein spezifisches Gewicht von durchschnittlich nur 2,0 bis 2,6, das Innere ein solches von 5,6 bis 6 (bzw. im Zentrum vielleicht 13 bis — an der Kruste — 2,6) besitzt, darf als sicher gelten, daß auch noch heute eine stärkere Zusammenziehung, bzw. ein stärkeres „Sichsetzen", bei der Kruste und nicht beim Innern stattfindet. Eisen, Platin usw. lassen sich auch bei stärkster Belastung nicht erheblich zusammenpressen. Das Innere des Erdballes ist eine dichte, metallschwere Kugel, die sich auch bei stärkster Abkühlung nicht mehr beträchtlich „setzen" kann. Dagegen besteht die Kruste aus vergleichsweise sehr lockeren, porösen Massen mit Spalten und Rissen ohne Zahl.

Die Frage, was von den beiden Hauptteilen der Erde sich noch heute stärker „setzt", entzieht sich der ziffermäßigen Feststellung, weil wir weder die Temperatur des Innern der Erde wissen, noch das Maß der Zusammenziehung. Wir müssen uns daher bis auf weiteres mit logischen Erwägungen und Operationen begnügen, wenn solche ein Resultat geben. Da kann nun noch Folgendes angeführt werden:

Es ist eine durch (auch von mir angestellte) Versuche erwiesene Tatsache, daß ein heißer Körper in einer gegebenen Zeit um so mehr Wärme verliert, je höher seine Temperatur ist. Demzufolge würde ein jeder Kubikmeter der Erdrinde in einer gewissen Zeit beträchtlich weniger Wärmeeinheiten abgeben, als das Innere, dieses unter gleiche Verhältnisse der Abkühlung gebracht, also dem Weltraum ausgesetzt gedacht, und es wäre,

hiernach zu schließen, möglich, daß das Innere im jetzigen Zeitalter oder in jüngeren Stadien der Erdentwicklung, auf die Volumenseinheit bezogen, sich stärker zusammengezogen hätte, als die Kruste. Aber das Innere ist, wie gesagt, von der Kruste umschlossen. Da sind nun zwei äußerste Grenzfälle möglich oder im äußersten denkbar. Entweder schützt die lockere und poröse Kruste das Innere wie ein weicher Pelzmantel vor jedem Wärmeverlust, leitet also die Wärme gar nicht — dann erfährt nur die Kruste Abkühlung und Zusammenziehung — oder die Kruste hat gar keinen Einfluß auf das Maß der Abkühlung des Innern, d. h., die gesamte Wärme, welche das Innere verliert, geht durch die Kruste wie Wasser durch ein Sieb hindurch, die Leitung ist eine vollkommene — dann müßte die Kruste bis zur Oberfläche herauf in höchster Glut stehen, beide Körper würden wieder, wie zu Anfang der Erdentwicklung, annähernd gleiche Temperaturen besitzen, und es wäre der Zustand gegeben, den ich Seite 6 und 7 ziffermäßig behandelte. Aber dieser zweite Grenzfall ist gänzlich auszuschließen, weil die Kruste nicht bis zur Oberfläche herauf glüht. Es bleibt also nur einer der dazwischenliegenden Fälle (auch für frühere Zeiten), daß ein Teil der vom Innern abgegebenen Wärme in der Kruste verbleibt und der andere Teil diese passiert. Wenn nun zwei Grenzfälle einer Reihe von Möglichkeiten qualitativ dasselbe Endresultat ergeben, so muß für alle dazwischenliegenden Fälle das gleiche gelten, was sich sowohl in der niedrigeren Temperatur der Kruste, wie in deren größerer Lockerheit ausspricht.

So gelangen wir wieder zum Ausgangspunkte zurück, zu dem Satze, das die Tatsache der niedrigeren Temperatur der Kruste beweist, daß sie im Vergleich mit dem Innern die stärkere Abkühlung erfahren hat. Dazu kommt die Tatsache, daß die Kruste auch bei geringerer Abkühlung wegen ihrer Lockerheit noch immer zu einer stärkeren Volumensverkleinerung, als das Innere, befähigt ist.

Mit andern Worten: Es konnte sich die Entwicklung der Erde hinsichtlich der Abkühlung und Schrumpfung beider Hauptteile nicht umkehren. Der tiefere Grund dafür ist die hohe Pressung des Innern durch die Schwere.

Von einer Faltung der Kruste infolge geringerer Volumensverminderung kann also keine Rede sein. Im Gegenteil muß auf Grund des Vorgeführten behauptet werden, daß das Äußere der Erde, die „Rinde“, vielfach reißen mußte, statt sich zu falten, daß Klüfte und Spalten in großen Ausdehnungen und Tiefen das Antlitz unseres Planeten zerfurchen mußten. So erhalten große Spalten, die sich allmälig verbreitert und mit Absätzen und Eruptionsprodukten ausgefüllt haben, wie der „Graben“ Ostafrikas, ihre ungezwungene Erklärung. Wenn und wo echte Faltungen (Seitenschubfalten) der Erdrinde oder oberster Schichten aufgetreten sind, da ist es infolge eruptiven Heraufdrängens von Gesteinmassen geschehen, deren Eintreten in die Erdrinde allerdings einen entsprechenden Seitendruck ausüben mußten.

Ich komme nun zu meiner Behauptung ad 2. Diese bezieht sich auf die vermeintlichen Tiefenräume, wohin die „Senkungsfelder“ abgesunken sein sollen.

Solche Tiefenräume (Hohlräume) würde der in der Erde herrschende Gewichtsdruck nicht zulassen, und zwar beginnt diese Region der Unmöglichkeit größerer leerer Räume schon in verhältnismäßig geringen Tiefen. Wenn wirklich das Innere der Erde infolge stärkerer Abkühlung seinen Radius relativ verkleinert hätte, so wäre trotzdem keine „Tiefe“, wären keine Hohlräume entstanden, in welche größere Teile der Erdrinde absinken konnten. Vielmehr wäre die gesamte Rinde, die gesamte Oberfläche der Erde dem Kern nachgesunken, und es hätten keine partiellen „Senkungsfelder“ von ozeanischen Ausdehnungen entstehen können. Auch unter der Voraussetzung der stärkeren Abkühlung des Innern kommt man also zu dem Schluß, daß „Tiefen“ als ausgedehnte partielle Erscheinungen niemals möglich gewesen wären, weil die Kontraktion allgemein und mithin die „Tiefe“ überall aufgetreten wäre.

Ich füge dieser Besprechung der „Tiefen“ noch die Bemerkung an, daß es wohl ausgeschlossen ist, anzunehmen, daß der Kern nur in Teilgebieten seiner Oberfläche eingesunken wäre, in andern Gebieten nicht. Das hieße, ohne irgendwelche Veranlassung die Entstehung von Senkungsfeldern auf dem Kern behaupten, um die Senkungsfelder der Erdrinde zu erklären.

Eine andere Möglichkeit der Entstehung von „Senkungsfeldern“ könnte aus der Tatsache des größeren spezifischen Gewichts der Erdkruste unter den Ozeanen im Vergleich mit den Massen der Kontinentalsockel gefolgert werden. Die Schichten der „Senkungsfelder“ könnten vermöge ihrer größeren Schwere tiefer in die weiche Kugel des Kernes eingesunken sein. Aber eine solche Erklärung fällt gänzlich aus dem Rahmen der passivplutonistischen Lehren heraus, da sie mit der Annahme der stärkeren Abkühlung und Kontraktion des Innern nichts zu tun hätte. Sie würde der Annahme Dana's zuneigen, daß die Gestalten und Gebiete des Festlandes und der Ozeane im wesentlichen von jeher unveränderlich seien, eine Annahme, welche der geologischen Tatsache widerspricht, daß sich auf den Kontinenten, und zwar in jeder Höhe über dem Meeresspiegel, Ablagerungen aus Meeren, dagegen in andern Gebieten in gleichen Höhen Süßwassersedimente gleichen Alters vorfinden. Diese Erklärung der „Senkungsfelder“ ist also von jeder weiteren Erörterung auszuschließen. Denn jene Tatsachen beweisen, daß ein säkularer, vielspältiger Wechsel in der Höhenlage der Erdoberfläche, wie der kontinentalen Horizontalformen, stattgefunden hat.

Ähnlich wie partielle Tiefen wären auch partielle Schollen (Kontinente) unmöglich, wenn der Erdkern infolge stärkerer Abkühlung sich stärker zusammengezogen hätte, als die Rinde (meine Behauptung ad 3):

Wenn, wie die Passivplutonisten annehmen, die Senkungsfelder zum Kern hinabgesunken wären, so müßten die Schollen in der Höhe stehengeblieben sein. Sie würden also Wölbungen über ausgedehnten flachen Hohlräumen darstellen, im Gegensatze zu den abgesunkenen Krustenfladen, deren Absinken auf ihren Gebieten die Hohlräume beseitigt, ausgefüllt hätten. Aber solche Wölbungen von 100, von 500, von 1000 Meilen Spannweite und verhältnismäßig sehr geringer Pfeilhöhe würden keine Standfähigkeit besitzen. Nach den Formeln für Gewölbe würde in den Schollenwölbungen, diese konzentrisch mit der sonstigen Erdoberfläche gedacht, ein Horizontaldruck herrschen, der nur mit den ungeheueren Pressungen in großen Tiefen der Erde verglichen werden könnte. Der Horizontaldruck würde nicht

weniger als ungefähr 17000 Zentner pro Quadratzentimeter oder 850000 Atmosphären betragen[1]). Unter solcher Pressung würden die Massen der Kruste zu feinstem Staub zermalmt werden, und alles würde nach unten sinken, wie jedes Gewölbe, dessen Belastungen für die Flächeneinheit zu groß genommen wurden.

---

2. Die hydrothermischen Prozesse in der Erde. Ursache der Ozeane und Kontinente.

Nun läßt sich der passivplutonistischen Lehre noch vom Standpunkte einer tieferen und umfassenderen Naturbetrachtung ein Vorwurf machen. Es handelt sich hierbei um einige geophysikalische Faktoren, die allgemein bekannt sind, deren Zusammenwirken aber von der Geologie bzw. von den Passivplutonisten bisher noch nicht oder nicht genügend in Betracht gezogen wurde.

Die Kruste der Erde ist, verglichen mit den Substanzen des Innern, eine lockere poröse Masse. Diese Kruste ist bis in die Tiefen der Glühhitze mit Wasser getränkt und gesättigt, weil das Wasser, namentlich das heiße Wasser, in alle Poren und Räume sickert, und beständig durch die Schwere und den auf ihm lastenden hydraulischen Druck nach unten, nach dem Zentrum der Erde hingedrängt wird. Auch die Kapillarität wirkt in diesem Sinne. Da nun die Meere nur eine dünne Hülle um die Litosphäre bilden, deren Volumen nur ungefähr $^1/_{900}$ der ganzen Erde, deren Masse nur $^1/_{5200}$ der Erdmasse ist, so würden die Ozeane längst von der Erdoberfläche verschwunden und von der Erdrinde aufgesogen worden sein, wenn nicht ein anderes bestimmtes Hindernis für dieses Einsinken des gesamten

---

[1]) Die für Berechnung des Seitendruckes bei einem Gewölbe in Form einer Kugelkalotte benutzte Nährungsformel ist: $P = \frac{r^2 g}{40\, h}$, wobei P den Seitendruck in Kilogramm pro Quadratzentimeter, r den Halbmesser der Kalotte, h die Pfeilhöhe der Wölbung, beides in Meter, und g das spezifische Gewicht des Materials bezeichnet. Bei ungefähr 45 Meilen Kalottendurchmesser ist P ein Maximum. Für die Gesteinmassen der Kruste wurde ein spezifisches Gewicht von 2,6 angenommen.

Wassers vorhanden wäre. Dieses Hindernis ist die Glühhitze im Erdinnern. Um ein nicht ganz passendes, aber sehr anschauliches Beispiel zu gebrauchen: Die Ozeane werden von der innern Glut getragen wie der Leidenfrost'sche Tropfen auf der heißen Metallplatte.

Nur ein Teil des Wassers der Erdrinde (um bei dieser sehr wenig zutreffenden Bezeichnung für die äußeren Lagen der Erdkugel zu bleiben) gelangt bis in die glühenden Tiefen. Ein anderer sehr großer Teil kehrt auf halbem Wege wieder um, verdampft, steigt nach oben, erwärmt die oberen Schichten und bewirkt deren Volumenvermehrung. Welcher Prozentsatz des hinabsickernden Wassers in die glühenden Tiefen und welcher zur Umkehr gelangt, hängt davon ab, wie lang in radialer Richtung gemessen durchschnittlich die entstehenden Wassersäulen sind, die sich durch Verbindung (Vereinigung) des Wassers der Poren, Spalten und Klüfte bilden. Je höher die Wassersäulen, desto größer der hydraulische Druck, desto höher die Siedetemperatur, desto tiefer reichen die Säulen flüssigen Wassers hinunter. Dagegen werden kurze Säulen gleichsam zurückgeschleudert, zur Umkehr gezwungen.

Ich will hier einschaltend darauf hinweisen, daß bei den Erscheinungen der besprochenen Wasserfolgen eine große Mannichfaltigkeit in den Längen derselben bestehen und daß auch ein öfterer Wechsel in den Längen vor sich gehen muß. Bei eintretendem Wassermangel müssen lange Säulen in viele Stücke, in viele kurze Säulen zerfallen, während bei reicherem Zufluß sich kleinere Säulen zu längeren verbinden.

Trotz aller Mannichfaltigkeit im Einzelnen muß sich nun im großen Ganzen eine Art Beharrungszustand in den hydrothermischen Prozessen herausgebildet haben, derart, daß die Summe der Längen der sämtlichen Wasserfolgen eines Landes oder Erdgebiets für längere Zeit konstant bleibt. So viel Wasser sich auch in heißem, hochgepreßtem Zustande in den Tiefen aufhält: Es muß stets ein gewisser Prozentsatz des gesamten vorhandenen Wassers in oberen Regionen und auf der Oberfläche der Erde existieren, solange die Glut nicht in genügend große Tiefen der Erde hinabgesunken ist. Einen ähnlichen Beharrungszustand trotz allen Wechsels mit Bestehen einer gewissen

Sonderung der Gesamtmasse haben wir in den Zuständen der Atmosphäre vor Augen: Ein Teil des Wassers der Erdoberfläche treibt sich stets als Luftfeuchtigkeit, als Nebel und Gewölk, als fallender Regen usw. in den Lüften umher. Das Erdinnere sowohl, als auch die lockere kühle Rinde, ist mit Wasser in dieser oder jener Form, teilweise vielleicht in zersetztem Zustande, gesättigt[1]). Dadurch ist der gedachte Beharrungszustand bedingt.

Es findet weiter notwendig eine Wechselwirkung und ein Austausch statt zwischen dem heißen Wasser der Tiefe und den Gewässern der kühleren Erdrinde und der Oberfläche. Große Bruchteile des nach den heißen Tiefen gedrungenen Wassers werden in Dampf verwandelt oder gar zersetzt, und treiben, verdrängt von andern, abwärts sickernden kälteren Gewässern, und so schnell, als es die meilendicken Lagen, Schichten und Gesteine gestatten, nach oben. Auch heiß gewordene Wassermassen strömen denselben Weg zurück nach den oberen Schichten. Anderseits müssen die in oberen Schichten aus den Dämpfen niedergeschlagenen oder abgekühlten Wassermassen wieder zurück in die Tiefe dringen, wo sie von neuem Wärme aufnehmen. Es geht also notwendig ein fortwährender, wenngleich langsamer Kreislauf in der Erde, namentlich in der Kruste, vor sich, eine Zirkulation von Wärme und Wasser, ähnlich dem Kreislaufe des Wassers in der Atmosphäre.

Die Sättigung der Erdrinde und der heißeren Tiefen mit Wasser, der von der hohen Wärme des Innern hervorgerufene und unterhaltene Kreislauf, und der trotz allen Wechsels bestehende Beharrungszustand sind die Ursachen der Existenz der Ozeane und sonstigen Gewässer auf der Erdoberfläche. So werden die dünnflüssigen Massen der Oberfläche gleichsam von der inneren Glühhitze getragen.

Nun hat die Zirkulation von Wärme und Wasser, oder, wie ich es kürzer bezeichnen will, der hydrothermische Kreislauf in der Erdrinde, notwendig gewisse Wirkungen auf die Erdmassen

---

[1]) Als „Sättigung" ist hier nicht eine solche im eigentlichen physikalischen Sinne zu verstehen, sondern nur derjenige Grad der Wasseraufnahme, welcher von sämtlichen Verhältnissen und Faktoren im Erdinnern, also z. B. auch von der jeweiligen durchschnittlichen vertikalen Länge der Wassersäulen, abhängt.

selbst. Eine heiße, durchdämpfte Erdmasse nimmt einen größeren Raum ein, als eine kältere Masse gleicher Dichte und Größe. Unter günstigen Umständen müssen die heiß durchdämpften und durch Kondensation von Wasserdampf hocherwärmten Erdmassen der Kruste sich aufblähen wie ein gärender Brotteig. In solchen Gebieten muß die Erdrinde eine langsame Verdickung (Vergrößerung der Ausdehnung in radialer Richtung), eine Auftreibung erfahren. Und zwar müssen die stärksten Auftreibungen der Erdmassen dort stattfinden, wo der reichlichste Sickerregen nach den heißen Tiefen hinabrieselt und daher die lebhafteste Zirkulation vor sich geht.

Es werden also notwendig in jedem Grade der Stärke und der horizontalen Ausbreitung Auftreibungen oder Verdickungen der Erdrinde hier und da auftreten, die bei genügender Höhe über der ozeanischen Wasserfläche als Tafeln und Kontinente erscheinen.

Man kann hiernach folgenden Satz aufstellen:

Im allgemeinen hängt die Höhe eines Landes, bzw. eines Stückes der Erdrinde über oder unter der Meeresoberfläche, von dem Maße der innerhalb der Erdrinde des betreffenden Gebiets stattfindenden hydrothermischen Zirkulation ab. Der Wasserspiegel scheidet zwar Land und Meeresboden; in Wirklichkeit besteht jedoch eine zusammenhängende Reihe aller möglichen Höhen der Lithosphäre.

Gelangt der hydrothermische Kreislauf und die davon abhängige allmälige Verdickung der betreffenden Gebiete der Erdrinde ebenfalls in einen gewissen Zustand der Beharrung, so können die Auftreibungen — obschon unter langsamen Veränderungen und mancherlei Wechsel im Einzelnen — zu mehr oder weniger dauerhaften Gestaltungen werden.

Diese Art der Erhebungen der Erdrinde, die eine notwendige Folge des Zusammenwirkens zweifellos vorhandener erdphysikalischer Faktoren sind und deren äußerlich stets sichtbares Symptom die Ozeane darstellen, haben die Passivplutonisten bei ihrer Erklärung der Kontinente nicht berücksichtigt, obwohl jene Faktoren seit lange bekannt sind. Sie dachten an ein Hinabsinken der Erdrinde zu einem vermeintlich sich relativ stärker

verkleinernden Erdkerne und an passive, „tektonische“ Wärmewirkung desselben, während in Wahrheit eine vom Innern ausgehende aktive, physikalische Wärmewirkung in Betracht kommt. Sie haben Erdteile und Ozeanbecken zu erklären versucht, ohne daran zu gehen, auch die Ozeane selbst bzw. deren Dasein auf der Erdoberfläche, zu erklären, woran sich dann die Erkenntnis hydrothermischer Prozesse in der Erdrinde und positiver Auftreibungen derselben angeschlossen hätte.

So zeigen uns verschiedene Wege der Untersuchung, daß die anscheinend so gut begründete Theorie der Passivplutonisten haltlos ist.

Nach dem bisher Gesagten findet in der Erde nicht jener simple Vorgang des passiven Zusammenziehens statt. Es zeigt sich vielmehr, daß unser Planet mit seinen Wassermassen und seiner Glut im Innern ungeheure Kräfte besitzt, die bei der Bildung der Erdoberfläche die wichtigte Rolle gespielt haben müssen.

Ein anschauliches Zeugnis für die Lehre vom Zusammenwirken des Wassers und der Wärme in der Erde würde man erlangen, wenn man die Arbeit, eine gewaltige Mulde von Meilentiefe, einen großen künstlichen Krater auszuheben, in Angriff nehmen würde. Ein solcher Tiefbau könnte zwar nicht vollendet werden. Beim Ausheben einer derartigen Mulde, die einen oberen Durchmesser von einigen Meilen bekommen müßte, um die gegen Hereinfließen und Abrutschen der Erdmassen sichernden Böschungen zu ermöglichen, würden es die arbeitenden Menschen, die Mannschaften für die Bedienung der Maschinen, Fahrzeuge und Förderanlagen, trotz künstlicher Zuführung von kalter frischer Luft, auf der Sohle in einigen tausend Meter Tiefe vor Hitze und Wasserdampf kaum aushalten, und die heißen Wassermassen, welche rings aus den dampfenden Gesteinen der Böschungen hervorbrächen, könnten schließlich nicht mehr bewältigt werden. Gelänge es trotzdem, sich der Gewässer mittels ungeheurer Schöpf- und Pumpenanlagen zu erwehren, so würden die heißen erstickenden Wasserdämpfe den Arbeiten sehr bald ein Ziel setzen, und der ganze Tiefbau würde der Zerstörung anheimfallen, lange bevor man die Region der Glühhitze erreicht hätte. Ja bei einer Tiefe von vielleicht 15000 Metern

würden die Erdmassen der Sohle selber beginnen, von unten gehoben, emporzusteigen.

Trotzdem würde ein solches Unternehmen, bis zur Grenze der Möglichkeit durchgeführt, von hohem geophysikalischen, wie von technischem (die Frage der Ausnützung der inneren Erdwärme betreffenden) Interesse sein und **jedenfalls wertvoller**, als die zahlreichen **Polar-Expeditionen.**

Was nun die Frage betrifft, ob Auftreibungen und Verdickungen der Erdrinde aus den besprochenen hydrothermischen Prozessen hervorgehen müssen, so wird diese Frage auch von den Passivplutonisten selber nicht verneint werden können. Sie stehen nämlich mit ihrer Lehre vom allmäligen Zusammenbruche der Erdrinde auf demselben Boden derselben wärmephysikalischen Annahme, auf dem auch die hier dargestellte Theorie ruht. Es ist das die Annahme, daß die Hitze der Erdmassen vermöge ihres größeren Volumens eine entsprechend höhere Lage für die Erdoberfläche bedingt, daß überhaupt die Höhe der Oberfläche der Erde von der Temperatur der tieferen Schichten abhängt. Denn wenn das Erdinnere bei der Abkühlung die Krustenmassen hinabsinken läßt, so muß es sie vorher vermöge seiner Wärme in größerer Höhe getragen haben. Der etwaige Einwand, daß es sich in dem einen Falle um einen größeren Kraftbedarf handelt, als in dem andern, daß Emporheben und bloßes Tragen oder Stützen hinsichtlich des Kraftbedarfs verschieden sei, ist nicht haltbar. Im ersteren Falle ist allerdings die Trägheit der zu hebenden Massen und die Reibung zu überwinden, was im andern Falle nicht in Betracht kommt. Bei der Hebung spielt aber die Reibung eine unerhebliche Rolle und kann fast außer Rechnung bleiben. Was nun die Trägheit betrifft, so ist es bekannt, daß selbst die kleinste Kraftwirkung einen beliebig großen freibeweglichen Körper in Bewegung, und zwar in beschleunigte Bewegung versetzt. Wenn und wo der konstante Impuls der nach Ausdehnung strebenden durchdämpften Massen der Rinde keine Hebung derselben bewirkt, so liegt das daran, daß der Gewichtsdruck der Rinde jenem Impulse, also dem Spannungsdruck der Durchdämpfung, annähernd das Gleichgewicht hält. Die geringste hinreichende Vermehrung des Spannungsdruckes, bzw. die geringste

hinreichende weitere Erwärmung der Schichten und Gesteine der Erdrinde muß also eine entsprechende Erhebung der letzteren hervorbringen, wenn die Reibung am Rande der zu hebenden (d. h. durch Auflockerung dicker werdenden) Platte keine Rolle spielt.

Die Möglichkeit der Auftreibung oder Verdickung der Erdrinde durch hydrothermische Zufuhr von Wärme aus dem reichen Schatze des Innern ist somit wohl in der Hauptsache erwiesen, und es kann sich hier nur noch um Fragen des Quantums, also der Größe der Erhebungen oder Auftreibungen handeln.

Treten wir dieser Frage mit einigen Zeilen näher, so finden wir, daß verhältnismäßig nicht viel Wärme dazu gehört, um Auftreibungen von der Höhe der Kontinentalsockel zu bewirken. Bei niedriger (gewöhnlicher) Temperatur beträgt die Zunahme des Volumens von Erden und Gesteinen für je 100 Grad Temperaturerhöhung durchschnittlich ungefähr 0,004, bei der Temperatur von 1500 Grad pro 100 Grad durchschnittlich vielleicht 0,006 des Volumens. Rechnet man als mittlere Zunahme für je 100 Grad Temperatursteigerung 0,005, so würde sich eine Schicht von 10 Meilen Dicke ($^1/_{86}$ des Erdhalbmessers) und einer mittleren Temperatur von 1000 Grad nur um 270 Grad zu erwärmen haben, um eine Verdickung von 1000 Meter zu erfahren. (Dabei ist die vom aufwärtssteigenden heißen Wasser oder dem Dampfe selbst bedingte, aus der kapillarischen Erfüllung herrührende Auftreibung noch nicht mitgerechnet.) Diese Höhe wäre gleich der Erhebung eines Festlandssockels von 100 Meter Höhe über den Meeresspiegel bei 900 Meter Seetiefe.

Hier sei bemerkt, daß als mittlere Gesamtauftriebshöhe für die Kontinente nicht die mittlere Ozeantiefe (3300 Meter) plus der mittleren Höhe über dem Meere, sondern, wegen der als Anfangszustand gedachten Verbreitung des Wassers über die ganze Erdoberfläche, nur ungefähr 0,7 jener Tiefe (2300 Meter) plus der Seehöhe zu rechnen ist. Ferner kann auch nicht angenommen werden, daß jeder Kontinentalsockel das Resultat eines einzigen Verdickungs- oder Auftriebsprozesses vorstellt. Mithin ergeben sich für die einzelnen Erhebungsperioden verhältnismäßig kleine Temperatursteigerungen. Nimmt man die

Stärke der Erdrinde, innerhalb welcher eine hydrothermische Zirkulation vor sich geht, größer als $^1/_{86}$ des Erdradius, so werden die erforderlichen Temperatursteigerungen noch kleiner.

So würden sich die zahlreichen Hebungen des Landes aus dem Zusammenwirken der Glühhitze des Innern der Erde und des Wassers der Rinde gut erklären lassen. Daß auch noch andere Vorgänge chemischer oder physikalischer Art dabei mitwirken, ist möglich und wahrscheinlich. Doch jedenfalls spielt die Wärmetransmission durch Wasserdampf und Heißwasser bei den Vorgängen der Landerhöhungen die Hauptrolle.

Daß die Erdrinde der Ländergebiete im Vergleich zum Meeresboden aus aufgelockertem Material besteht, dafür haben wir Belege in den Ergebnissen verschiedener Pendelbeobachtungen. Diese Beobachtungen lassen, wie bekannt und schon Seite 11 erwähnt, Defekte in der Massengröße der kontinentalen Sockel, verglichen mit der ozeanischen Erdrinde, erkennen. Da es in der Erde (außer in ganz oberflächlichen Regionen) nach dem Seite 10ff. Gesagten größere Hohlräume nicht geben kann, so können die Defekte nur in größerer Porosität, geringerem spezifischen Gewicht ihren Grund haben.

Fast noch wichtiger oder zwingender, als die Ergebnisse der Pendelversuche, ist die Tatsache, daß die sogenannte Wasserhalbkugel der Erde der Landhemisphäre das Gleichgewicht hält. Durch die Ungleichheit der Land- und Wasserverteilung auf der Erdoberfläche, also durch vorwiegende Erhebung der Oberfläche der Lithosphäre auf der einen Seite und Depression auf der andern Seite, ist das Zentrum und der Schwerpunkt der Gesamt-Erde, also einschließlich der Ozeangewässer, nicht oder nicht wesentlich nach der Seite des Landübergewichts verschoben worden. Das ist bewiesen durch die Verteilung der Wassermassen. Hätte jene Verschiebung des Schwerpunktes stattgefunden, so müßten sich die Wassermassen konzentrisch um die mittlere Lithosphäre lagern und ordnen, und es gäbe keine hemisphärische Ungleichheit in der Land- und Wasserverteilung auf der Erdoberfläche. Es würde auch kein „großer Ozean“ existieren, und von den Kontinenten Europa, Asien und Afrika würde ein beträchtlicher Teil unter dem Seespiegel liegen. Da dies nicht der Fall ist, so müssen die Massen der konti-

nentalen Erdkruste ein geringeres spezifisches Gewicht haben, als die Massen des Meeresbodens. Erstere müssen daher aus vergleichsweise lockerem Material bestehen.

Es könnte hier noch der Einwand gemacht werden, daß den kontinentalen Erhebungen der „Landhalbkugel" möglicherweise eine dichte exzentrische Masse tief im Innern das Gleichgewicht halte. Andere Tatsachen jedoch stehen einem solchen Einwande entgegen, vor allem der hier nicht außer acht zu lassende Umstand, daß die Lage der Pole der Erddrehung unabhängig von der Lage der kontinentalen Erhebungen ist. Wäre eine exzentrische Verdichtung in der Erde vorhanden, welche den Kontinenten der Landhalbkugel das Gleichgewicht hielte, so müßte der Nordpol[1]) ungefähr 20 Grad südlich von Alaska, der Südpol nicht weit vom Kaplande liegen, oder überhaupt, die Erde (welche dann, beiläufig bemerkt, eine birnenförmige Gestalt haben würde, mit dem Stiel-Ende in Europa) würde um eine Achse rotieren, die durch den Äquator der Land- und Wasserhalbkugel gehen würde.

Von einer erheblichen Ungleichheit der Verteilung der Massen (dieses Wort im Sinne der Mechanik genommen) in und auf der Erde kann also schon aus dem dargelegten Grunde keine Rede sein.

In weiterer Betrachtung der hierher gehörigen Fragen gelangt man noch zu einem andern für die Lehre der Erhebungen nicht unwichtigen Resultate. Die geringe Verlegung des Schwerpunktes der Erde, welche gleichzeitig mit der Erhöhung eines Teils der Erdoberfläche durch auflockernde Ursachen in der Richtung nach dieser Erhöhung hin stattfindet, wird nach den Gesetzen der Mechanik sofort wieder rückgängig gemacht durch entsprechende Verlegung von Wassermassen nach der entgegengesetzten Seite der Erde, sodaß zu der Erhebung der lithosphären Oberfläche auch noch eine Entblößung dieser Oberfläche von Meerwasser, ein teilweises Abfließen desselben nach der andern

---

[1]) Nach den Sätzen von der Drehung der Körper um freie Achsen, insbesondere dem Satze, daß eine freie Achse permanent ist, wenn einem jeden Massenteilchen eines sich frei drehenden Körpers von einem oder mehreren andern Massenteilchen derselben Drehungsebene das Gleichgewicht gehalten wird.

Seite hinzukommt. Der Prozeß vollzieht sich folgendermaßen: Sobald sich der Schwerpunkt der Erde infolge von Erhebungen (Auflockerungen) nach der Seite dieser Erhebungen verschiebt, erlangen die entgegengesetzten Teile der Erde, insbesondere der Erdoberfläche, einen größeren Abstand vom Schwerpunkte, mithin eine stärkere Zentrifugalkraft (die bei gleichbleibender Winkelgeschwindigkeit mit dem Radius der Drehung zunimmt). Diese stärkere Zentrifugalkraft ist hinsichtlich der Wirkung auf die Gewässer dieser Erdseite gleichbedeutend mit einer Verminderung ihres Gewichts, und dies hat zur Folge ein Heranströmen von Gewässern anderer Erdgegenden, eine Anhäufung von Wasser, eine Vergrößerung der Ozeantiefen dieser Seite, bis das Gleichgewicht wieder hergestellt ist.

Die Anhäufung der Ozeangewässer auf der einen Seite der Erde ist also kein Zufall, sondern die notwendige Folge einer ursprünglich vielleicht nur geringen Ungleichheit der Landerhebungen auf der andern Seite, wodurch sich auch die größere Durchschnitts-Seetiefe der nördlichen Halbkugel, namentlich des nördlichen Teils des großen Ozeans, erklärt [1]).

Hieraus geht bezüglich der Erhebungen hervor, daß bei der Rechnung auf Seite 18 noch geringere Höhen und niedrigere Temperaturen eingesetzt werden können. —

Senkungen ganzer Länder müssen eintreten, wenn die hydrothermischen Prozesse sich erheblich vermindern oder ganz aufhören, wenn die Wasserzufuhr nach unten aus irgendwelchen Gründen und Vorgängen, z. B. durch allmälige Verstopfung der Sickerkanäle in oberen Schichten oder größeren Tiefen, sich verringert, und an Stelle der Durchdämpfung der Erdmassen eine Abkühlung derselben tritt, ähnlich wie ein Teig langsam wieder zusammensinkt, wenn die Gärung zu Ende ist.

Eine notwendige letzte Grenze des Prozesses der Landerhebung liegt in der allmäligen Abnahme der Glühhitze, bzw. in dem Zurücksinken der glühenden Region unterhalb des

---

[1]) Hiernach zu schließen, muß, nebenher gesagt, das Erdellipsoid außer der allgemeinen äquatorialen noch zwei große sekundäre örtliche Ausbauchungen besitzen, von denen die eine ihre Mitte ungefähr in Europa oder dem Mittelmeer, die andere ihre Mitte im nördlichen Teil des großen Ozeans haben dürfte.

aufsteigenden Landes, welche durch Jahrtausende währende Transmission der Wärme nach oben gleichsam ausgeschöpft wird, so daß unterhalb eines Kontinents eine entsprechend ausgedehnte Depression (eine Mulde) auf der glühenden Kugel (selbstredend ohne Hohlraum darüber) entsteht.

Eine andere notwendige Grenze ergibt sich aus dem Streben der Massen nach einem Gleichgewichtszustande. Je höher sich die Erdkruste eines Kontinentalgebiets aufbläht, desto mehr Masse kommt von den tieferen Lagen zur Erhebung, desto größer muß folglich auch der Widerstand werden, den die Massen den hebenden Kräften entgegensetzen, bis ein Zustand eintritt, wo eine Hebung entweder nur noch unmerklich oder gar nicht mehr stattfindet, so daß alle weitere Aufblähung ihre drängende Wirkung nur noch nach unten äußert.

Hohe Ländersockel können auch dadurch eine Senkung erfahren, daß sie langsam, auch unterhalb des Seespiegels, wie ein Brei auseinanderfließen.

Geht die Abkühlung, die relative (Verminderung der Durchdämpfung und der Wärmezufuhr) oder die absolute, noch weiter, so müssen sich neue Risse, Verringerung der seitlichen Drücke, Zerlockerung (Zerrissenheit, Zerklüftung) und neue Sickerkanäle in der Erdrinde einstellen, und es kann zu einer Umkehr der Entwicklung, nach einer langen Periode säkularer Senkung zu einer neuen Periode säkularer, langsamer Erhebung kommen.

---

3. Der Aggregats- und Widerstandszustand der Erde.

Ende des vorigen Kapitels sagte ich, daß hohe Ländersockel wie ein Brei auseinanderfließen können. Um diesen Satz weiter zu erläutern, muß ich hier auf die Verhältnisse der Kohäsion und Aggregation des Erdballs eingehen, da dieser Gegenstand für mehrere Ausführungen dieser Schrift wichtig ist.

Jener Satz ist nur dann ganz verständlich und einleuchtend, wenn man aus der Wissenschaft von der Festigkeit großer fester Stoffmassen (Bauwissenschaft) weiß, daß die Massen der Erdrinde wie der übrigen Erde in keinem Falle, auch wenn sie „fest“ sind, feste Körper darstellen.

Manche der zahlreichen Untersuchungen theoretischer Art, welche hinsichtlich der Frage des Aggregatszustandes des Erdinnern angestellt worden sind, lehren die Starrheit desselben. Andere ergeben das Resultat, daß das Erdinnere flüssig oder — im Innersten — gar gasförmig sei. Ich halte das eine wie das andere für falsch oder höchstens für nur teilweise richtig.

Selbst wenn die Temperatur im Innern der Erde so hoch wäre, daß sie für die daselbst lagernden Substanzen über dem kritischen Punkte läge (bei welcher sie nicht anders, denn als Gase existieren können, wie groß auch der Druck ist, der auf ihnen lastet), so könnten diese Stoffe den wesentlichsten Charakter des Gaszustandes doch nicht zur Geltung bringen, der darin besteht, daß die Moleküle bzw. Atome frei durcheinanderfliegen. Es würde dazu der nötige Raum fehlen. Aus Gründen, die ich nachher noch berühren will, kann es im Innern keinen konzentrischen, kugelförmigen Hohlraum geben. Daher muß der ungeheure Druck, welcher im Innern und namentlich im Zentrum der Erde waltet, in jedem Falle die Moleküle, bzw. die Atome, so nahe zusammenhalten, wie es in den dichtesten Metallen der Fall ist, sodaß ihre gegenseitigen Abstände, wie auch ihre Bewegungsfreiheit, tatsächlich nicht größer sein können, als die Abstände und Räume in den schwersten festen oder flüssigen Metallen. Von einem Durcheinanderfliegen der Teilchen in solcher Enge kann wohl kaum im vollen Sinne gesprochen werden. Es ist sogar fraglich, ob ein solcher Zustand als derjenige der Flüssigkeit bezeichnet werden darf, da die starke Pressung vielleicht auch alles Fließen verhindert. In jedem Falle dürften größere Massenfließbewegungen in den zentralen Tiefen und bis hoch herauf unmöglich sein. Ja man kann es mit manchen Forschern als wahrscheinlich annehmen, daß die Stoffe des zentralen Innern durch den gewaltigen Druck im Zustande der Starrheit gehalten werden. Hoher Druck erschwert bei vielen Stoffen die Schmelzung. Eine solche Starrheit wäre durch den hohen Druck bedingt. Würde der Druck aufhören, so würden die hochglühenden Massen sofort schmelzen oder in Dampf aufgehen. Aber der Druck ist für diese Massen ein permanenter Zustand, wie für uns Lebewesen der Erdoberfläche der Atmosphärendruck, und daher sind im Erdinnern auch alle Verhältnisse

permanent, die von dem Drucke abhängen. Man kann also sagen, daß mindestens bei den zentralen Massen des Erdinnern ein der völligen Starrheit nahekommender oder vergleichbarer Zustand besteht, daß die Erde einen nahezu festen Kern enthält, der möglicherweise viele hundert Meilen Durchmesser hat, und vielleicht allmälig in eine Medianzone liquider oder viskoser Massen übergeht.

Nun stoßen wir auf eine große Merkwürdigkeit, die schon vorhin angedeutet wurde.

Selbst wenn das gesamte Erdinnere nicht nur infolge des hohen Druckes, sondern schon an sich eine völlig starre und und feste Masse wäre, so könnte trotzdem von einer Starrheit des Erdballs keine Rede sein. Die Begriffe „starr“ und „fest“ sind nur relativ; sie gelten nicht für Weltkörper. Bei Körpern von der Größenordnung der Weltkörper gibt es keine Starrheit und keine Kohäsion.

Vom Zustande des Flüssigen unterscheidet sich bekanntlich derjenige der Starrheit — es sei gestattet, an diesen elementaren Satz zu erinnern — dadurch, daß ein Körper im Zustande der Starrheit seine Form gegenüber mechanischen Einwirkungen bis zu einer gewissen Grenze aus eigener Kraft aufrechterhält, was bei flüssigen Körpern nicht der Fall ist. Zum mindesten muß ein fester Körper, um als solcher gelten zu können, imstande sein, seine Form gegenüber dem deformierenden Einflusse seines eigenen Gewichts ohne dauernde Veränderung bewahren, sodaß er nach Aufhören dieser Einwirkung in die vorherige Form zurückgeht.

Aber wenn die Erde so fest und starr wie Glas oder Stahl wäre, so würde sie sich selbst gegenüber den verhältnismäßig schwachen Einflüssen von der Größenordnung des eigenen Gewichts nicht anders verhalten wie ein weicher oder fließender Brei. Eigentlich feste Körper gibt es nur im Kleinen, in den minutiösen Verhältnissen der kleinen Dinge unserer menschlichen Macht, des Mobiliars der Planeten. Meilengroße Stoffmassen dagegen sind nicht imstande, ihre Form aus eigener Kraft zu behaupten, sobald andere Kräfte deformierend auf sie einwirken. Eine eiserne Stange von 3 Meter Länge und 2 bis 3 Zentimeter Stärke besitzt eine ziemliche Starrheit und Kohäsion.

Man kann sie an einem Ende aufhängen, ohne daß sie zerreißt; stellt man sie aufrecht, so knickt sie nicht um. Aber eine Eisenstange von 6 bis 7 Kilometer Länge würde wie eine Nudel von weichem Teige zerreißen, wenn man sie an einem Ende aufhängen würde. Sie aufzustellen oder aufzurichten wäre unmöglich.

Die fußdicke eiserne Welle einer 500pferdigen Dampfmaschine ist ein starrer Koloß, anscheinend völlig unbiegsam. Aber eine solche Welle von 10 Meilen Länge würde auf dem Lande liegen wie im Kleinen ein Seil oder ein Gummischlauch; allen größeren Unebenheiten, den Höhen wie den Vertiefungen, würde sie sich anschmiegen. Ein Stück Mauerwerk von einigen Fuß Durchmesser, durch ein gutes Bindemittel zusammengehalten, ist eine starre und widerstandsfähige Masse. Aber schon ein hoher Fabrikschornstein besitzt als Ganzes einen so geringen Zusammenhang, daß er von einem kräftigen Winde abgebrochen werden kann; gegenüber einem Erdbeben verhält er sich wie ein Bau von Sand oder losen Steinen. Auch die „rückwirkende" Festigkeit, der Widerstand gegen das Zerdrücken, hat ihre engen Grenzen. Kein Turm könnte aus Ziegelsteinen höher erbaut werden, als 2000 bis 2500 Meter, keine Säule aus Sandstein höher, als eine halbe Meile, weil die untersten Schichten sonst wie Brei zerdrückt und in zermalmtem Zustande unter dem Bau hervorgequetscht werden würden. Derartige Erfahrungen werden im Bauwesen sehr häufig gemacht, sobald man tragende Steine zu hoch belastet.

Aus diesen und ähnlichen Gründen muß gefolgert werden, daß die Erdkugel als Ganzes weder Kohäsion noch irgendwelche Starrheit besitzt. Selbst mit der Kohäsion des harten Stahls würde die Erde als Ganzes keine höhere Widerstandskraft besitzen, wie eine weiche Lehmkugel im Kleinen. Könnte man die Erde auf eine Platte legen und der Kraft ihres eigenen Gewichtes aussetzen, so würde sie mit Sturmesbrausen zu einem breiten Kuchen von wenigen Meilen Höhe und 25000 bis 30000 Meilen Durchmesser auseinanderfließen.

Hält man neben dieses Ergebnis die Tatsachen der hohen Temperaturen der überwiegenden Hauptmasse der Erde, die an sich schon die Festigkeit der Substanzen verringert, so zeigt

sich, daß die Erde in jedem Falle gleich zu erachten ist einer flüssigen bzw. zusammenhanglosen Kugel.

Von Wichtigkeit für die Frage der Bildung der Kontinente und der Gebirge ist das Verhältnis der Kruste der Erde zum heißen Innern. In geologischen und geophysikalischen Abhandlungen ist oft des längeren die Rede von der Dicke der festen Erdrinde, welche das glühende Innere zusammenhalte. Aus einer Reihe von Tatsachen, namentlich aus dem soeben Dargelegten über die Kohäsion meilengroßer Massen, ergibt sich aber, daß die Kruste das Innere keineswegs so umschließt und zusammenhält, wie die festen Wände eines Gefäßes eine darin befindliche Flüssigkeit. Die Erdkruste ist nicht fester und widerstandsfähiger als das Innere, sondern sie ist erheblich poröser, lockerer, zusammenhangloser, von zahlreichen Rissen und Klüften durchsetzt. Ihre gestaltgebende Widerstandskraft ist gleich Null. Sie empfängt ihre Form umgekehrt vom Innern, auf dem sie schwimmt oder lagert wie der Schaum auf dem Seifenwasser.

In der Frage der Starrheit und Kohäsion der Weltkörper (schon von der Größe von mehreren Meilen Durchmesser ab) muß die Erkenntnis zur herrschenden werden, daß solche Körper weder Starrheit noch Kohäsion besitzen, selbst wenn sie starr und fest wie Stahl sind. Ihre Gestalt ist lediglich der Ausdruck oder das sichtbare Zeichen der Kräfte, welche auf sie wirken, wie beim schwebenden, fallenden Tropfen, der kugelförmig ist oder sich in die Länge zieht. Deshalb sind alle Weltkörper der angegebenen Größenordnung (abgesehen von den Nebelmassen) Kugeln bzw. Ellipsoide, deren oberflächliche Unebenheiten der Höhe nach sich innerhalb von Meilengrenzen halten.

Es ist darum auch unrichtig, in der ellipsoidischen Gestalt der Erde einen Beweis für ihre ehemalige Heißflüssigkeit, ein Dokument für ihre Geschichte, zu erblicken.

Ohne Aufnahme jener Erkenntnis und der davon abhängigen richtigen Anschauung über das Verhältnis der Erdrinde zum Erdinnern unter die fundamentalen Lehren der Geophysik ist es unmöglich, Fragen, wie die Entstehung der Kontinente und der Gebirge, ferner die Ursachen der vulkanischen Erscheinungen und der Erdbeben, zutreffend zu lösen.

In neuerer Zeit haben Astronomen den liquiden oder viskosen Zustand des Erdinnern bzw. des Erdganzen darum bezweifelt, weil die Präzession eine andere sein müßte, als sie sich aus der Beobachtung ergibt, wenn die Erde nicht durch und durch starr und fest wäre. Bekanntlich entsteht die langsame Drehung der Erde um die Achse der Ekliptik, auf welcher Drehung die Präzession, das Vorrücken der Äquinoktialpunkte und der Jahreszeiten beruht, dadurch, daß die zwischen Erde und Sonne bestehende Gravitation auf die Ausbauchung der Erde am Äquator die Wirkung ausübt, diese Ausbauchung aus der schiefen Lage in die Ebene der Ekliptik hereinzuziehen, woraus zwar keine Änderung der Schiefe der Ekliptik, wohl aber eine Drehung der Erde um die Achse der Ekliptik hervorgeht. Jenes astronomische Urteil über den Zustand des Erdinnern beruht auf einer falschen Annahme hinsichtlich des Verhältnisses zwischen der Ausbauchung und dem fluidalen oder viskosen Zustande der Erde bzw. des Innern. Um jenes Urteil noch näher zu erklären, will ich hier Folgendes anführen:

Der Widerstand, den ein in Drehung um eine freie Achse begriffener Körper einer Veränderung der Lage seiner Achse entgegensetzt, ist abhängig von der Masse dieses Körpers bzw. desjenigen Teiles desselben, dessen Drehungsrichtung die angreifende Kraft zu ändern sucht. Je kleiner diese Masse, desto schneller ist die aus dem Angriffe resultierende Drehung um die sekundäre, zur Angriffsrichtung rechtwinklig stehende Achse der sekundären Drehung (Achse der Ekliptik, Drehung um diese Achse). Nimmt man mit den gedachten Astronomen an, daß vorzugsweise nur die äquatoriale Ausbauchung der Erde als dünner konvexer Zonenring bei der Entstehung der Präzession in Betracht komme, sobald das Innere flüssig ist (weil die Ausbauchung auf dem flüssigen Innern schwimmend leicht zu verschieben sein müßte), so kommt bei der Rechnung eine schnellere Präzession heraus, als die wirklich beobachtete.

Aber die Annahme, daß die Ausbauchung auf einem flüssigen Innern leicht zu verschieben sein müßte, ist nicht richtig.

Die Ausbauchung der Erde ist die Folge und unmittelbare Wirkung der Drehung ihrer ganzen Masse, da die Erde nach Seite 26 diejenige Form hat, welche durch die auf die Erd-

massen einwirkenden Kräfte bedingt ist. Aus diesem Grunde ist die Ausbauchung keine bloß oberflächliche Erscheinung, sondern sie erstreckt sich, mit abnehmender Größe, bis in alle Tiefen. Die angreifende Gravitation hat bei einer durch und durch flüssigen Erde nicht nur einen verhältnismäßig dünnen Ausbauchungsring zu bewegen, sondern auch die darunter befindliche Innenkugel, die ebenfalls ausgebaucht ist, obschon in etwas geringerem Grade, von dieser wiederum nicht nur die Ausbauchungsschaale, sondern gleichfalls die davon umschlossene Innenkugel, die wiederum ihre Ausbauchung besitzt, und so fort bis zum Zentrum. Jede dieser Ausbauchungsschichten wird von einem entsprechenden Teile der Gesamtgravitation erfaßt und zur sekundären Drehung gebracht. Gleichviel also, ob die ganze Erde vollkommen fest und starr, oder dünnflüssig wie Wasser wäre: die Gravitation muß auf die ganze Masse der Erde sekundär drehend, d. h. präzessionerzeugend, wirken. Der Aggregatszustand der Erde ist also ohne jeden Einfluß auf die Größe der Präzession.

Mit andern Worten: Die Präzession ist nicht eine Folge der Wirkung der Gravitation auf eine vermeintlich vom Innern unabhängig bewegbare Ausbauchungsschaale, sondern sie ist die Gesamtfolge der Wirkung der Gravitation auf alle einzelnen, außerhalb des Mittelpunktes befindlichen Massenteilchen der ganzen Erde. Die numerische Größe dieser Wirkung bemißt sich zwar nach der Masse der (zum Zwecke der Rechnung gesondert gedachten) Ausbauchungsschaale; die Wirkung selbst aber erstreckt sich auf die ganze rotierende Erde.

Man kann daher aus der bekannten Größe der Präzession nicht auf den aggregativen Zustand des Erdinnern schließen.

---

4. Die wahre Ursache der vulkanischen Ausbrüche.

Wie auf den verschiedensten andern Gebieten des materiellen Seins wie des geistigen Lebens zieht auch im Reiche der Physik des Erdballs eine Wirkung wieder andere Wirkungen nach sich. Mit der Erhebung der kontinentalen Krustenfladen fängt notwendig eine Reihe weiterer wichtiger geologischer Vorgänge

an. Das gestörte Gleichgewicht suchen die beteiligten Körpermassen nach den Gesetzen der Mechanik wieder herzustellen. Die kontinentalen Erhebungen bringen wieder andere Erhebungen zuwege.

Eine der wichtigsten und geologisch interessantesten Erscheinungen sind die vulkanischen Ausbrüche. Manchem Beobachter mögen dabei die Explosionen, die schußartigen Ausschleuderungen von Gesteinstücken und zerteilter Lava als die bedeutsamsten Vorgänge dieser Eruptionen erscheinen. Wichtiger aber, als die Explosionsphänomene müssen vom Standpunkte des Forschers, der die Kette der kausalen Zusammenhänge der Dinge zu ermitteln bemüht ist, das Aufsteigen und Ausfließen der Lava gelten. Die Beförderung der ungeheuren Mengen flüssigen Gesteins nach oben und außen, welche bei den vulkanischen Eruptionen oft stattfindet, ist hinsichtlich des Quantums der bewegten Massen und der Eigenart der Bewegung (ich meine die Vertikalbewegung) ein Vorgang, dem von den tellurischen Erscheinungen kaum etwas an die Seite gesetzt werden kann. Ich will hier nur daran erinnern, daß z. B. der Skaptar Jökul auf Island bei dem Ausbruche von 1783 eine Lavamasse von über 2 Billionen Zentner lieferte, eine Gesteinmasse, die ungefähr 200 mal so groß ist, als das gesamte Baumaterial aller Gebäude im Deutschen Reiche.

Es ist meines Wissens bisher noch niemals ein ernstlicher oder wenigstens kein befriedigender Versuch gemacht worden, das Aufsteigen der Lavamassen in den Vulkanschloten bis zu Tausenden von Metern über dem Meeresspiegel und deren Überfließen ausreichend zu erklären und die Ursache dieser Bewegung nachzuweisen. Das soll nun hier geschehen, und zwar auf Grund der einfachsten Gesetze der Mechanik.

Die treibenden Ursachen dieser Aufwärtsbewegungen sind, wie schon in den einleitenden Worten angedeutet, die im 2. Kapitel beschriebenen Hebungen der Erdkruste.

Ein in Erhebung (Auftreibung, d. h. Volumensvergrößerung) begriffenes Stück der Erdrinde übt vermöge der Trägheit oder des Beharrungsvermögens der Materie nach unten hin einen Gegendruck aus, dessen Größe von der Masse des in Hebung begriffenen Gesteins und der Geschwindigkeit dieser Bewegung

abhängt und genau gleich der Kraft ist, welche bei der Hebung des Erdrindenfladens tätig ist. Dieser Gegendruck muß sich notwendig bis hinab zu den glühenden Massen fortpflanzen, die nach den Ausführungen des 3. Kapitels als unzusammenhängend und daher als weich oder flüssig betrachtet werden müssen, wenn sie nicht schon aus Gründen der hohen Temperatur flüssig oder viskose sind.

Die so belasteten Massen müssen nun allseitig auszuweichen suchen. In Spalten, in Gebieten zerklüfteter oder gelockerter Erdkruste muß es daher zu Injektionen, zum Aufsteigen glühender, weicher oder flüssiger Säulen kommen. Nach den Gesetzen der Hydraulik muß eine Lavamasse, wenn Reibungswiderstände fehlen, in einem Vulkanschlote von 0,01 Quadratkilometer Querschnitt 1000 Meter über die Oberfläche eines in Hebung begriffenen Landes heraufsteigen, wenn in der Umgebung des Landes nur dieser eine Schlot vorhanden oder offen ist, wenn weiter die Horizontalfläche des Landes 500 000 Quadratkilometer und der gedachte Gegendruck 0,000 006 Atmosphären (6 Milligramm pro Quadratzentimeter) beträgt. Ein solcher Druck würde bei einer vertikalen Stärke des in Aufgärung begriffenen Krustengebiets von 10 Meilen, bei einem spezifischen Gewicht desselben von 3 und bei einer (relativen oder absoluten) mittleren Beschleunigung der Erhebung von 0,0 000 000 026 Meter pro Sekunde auftreten. Denn eine Lavasäule von 1000 Meter Höhe, 1 Quadratzentimeter Querschnitt und dem spezifischen Gewicht von 3 übt einen Gewichtsdruck aus von $\frac{1 \times 1 \times 1000 \times 100 \times 3}{1000} = 300$ Kilogramm oder 300 Atmosphären. Das in Erhebung begriffene Krustenstück von 500 000 Quadratkilometer Horizontalausdehnung, 10 Meilen Mächtigkeit und dem spezifischen Gewicht von 3 muß, wenn es die Lavasäule bis zur Höhe von 1000 Meter über die eigene Oberfläche emporheben soll, nach dem Gesetz des Verhältnisses der hydraulischen Drücke bei kommunizierenden Röhren, einen aus der Erhebung resultierenden Gegendruck pro Quadratzentimeter seiner eigenen Horizontalfläche von $\frac{0{,}01}{500\,000} \times 300 = 0{,}000\,006$ Kilogramm (oder 0,000 006 Atmosphären) ausüben. Um diesen Gegendruck zu entwickeln, ist eine sekundliche Beschleunigung bei der Erhebung des gedachten Krustenteils

von [1]) $\frac{0{,}000006 \times 9{,}81}{22500}$ = 0,0 000 000 026 Meter (oder 0,000 0026 Millimeter) erforderlich.

Findet gleichzeitig mit der Erhebung des Landes ein Zurücksinken desselben statt, was beim Beharrungszustande der Fall ist, wovon Seite 13 ff. die Rede war, mit andern Worten: wird der aus dem hydrothermischen Zirkulationsprozesse resultierende konstante Expansionsdruck von 0,000 006 Atmosphären dazu verbraucht, die Höhe eines Landes von 500 000 Quadratkilometer konstant zu erhalten, so würde ein beständiger Lavastrom von $^1/_{100}$ Quadratkilometer Querschnitt in der Höhe von 1000 Meter über der Oberfläche des Landes ausfließen können, wenn in der Umgebung desselben kein anderer Vulkanschlot offen steht.

Die Vulkane sind hiernach also gleichsam Springbrunnen, für welche die ländertragenden hydrothermischen Kreisprozesse den erforderlichen Druck liefern.

Man kann die Wirkung des Gegendruckes auch folgendermaßen beschreiben: Infolge des Gegendruckes eines in Hebung bzw. in Auflockerung begriffenen oder darin erhaltenen Krustengebiets müssen Druckdifferenzen in den flüssigen oder viskosen Massen unter der Kruste und in benachbarten Teilen entstehen. Das Gebiet der Druckmaxima (des größeren Druckes, das Feld des Gegendruckes des aufsteigenden oder in Auflockerung gehaltenen Landes) wird von einer Zone relativ geringeren Druckes umgeben sein. Die stärker gepreßten Massen werden daher nach der Zone des geringeren Druckes entweichen und dort (oder schon vorher) Auswege suchen und benutzen, wenn sich solche bieten. Sie werden in Spalten und Klüften (diese gewaltsam erweiternd) oder in zerklüfteten, gelockerten Stellen und Strichen dieser Zone (hier durchbrechend und Kanäle schaffend) emporsteigen.

Man kann endlich auch vom Gegendruck, obgleich derselbe tatsächlich auftritt, in der Darstellung absehen und sagen: Die

---

[1]) Nach der Formel $p = \frac{P \cdot g}{G}$, wobei P den Gegendruck in Kilogramm pro Quadratzentimeter, g die Beschleunigung der Schwere in Metern, G das Gewicht des Krustenteils pro Quadratzentimeter Horizontalfläche in Kilogramm (22 500) bezeichnet.

ausdehnende, innerhalb der Erdkruste wirkende Kraft drückt, wie nach oben, auch nach unten. Erstere Wirkung hebt das Land, letztere, durch Übertragung des Druckes mittels der glühenden Massen unter der Rinde, hebt die Lavasäulen. Wenn gleiche Kräfte an verschiedenen Körpern bewegend angreifen, so sind die erzeugten Geschwindigkeiten und die zurückgelegten Wege nach einem Elementarsatze der Mechanik umgekehrt proportional den bewegten Massen. Die Lavasäulen werden also höher und schneller emporsteigen als das sich aufblähende Land. —

So zieht also die Erhebung der Länder und Kontinente andere Erhebungen, die Aufwärtsbewegungen der vulkanischen Säulen, nach sich. So läßt sich das Aufsteigen der Lavasäulen über das Niveau der mittleren Erdoberfläche herauf erklären, Vorgänge, die meines Wissens bisher noch nicht erklärt worden waren. So lassen sich auch Erscheinungen erklären, wie das Nördlinger Ries und andere Calderen, wie auch der 250 Meter hohe Felsturm auf dem Mont Pelé, welcher nach dem Ausbruche von 1902 langsam aufgestiegen war.

Ich will hier noch erwähnen, daß der bloße Gewichtsdruck der Kontinentalsockel kein Aufsteigen der Lava über das Niveau der ersteren hinaus (bei gleichem spezifischen Gewicht beider Teile) hervorrufen kann. Denn wenn es auch als Tatsache betrachtet werden muß, daß die Lava in höheren Stufen beim Aufsteigen infolge Ausdehnung der darin absorbiert gehaltenen gepreßten Gase und Dämpfe poröser und schaumiger wird, so daß ein brodelndes Aufsteigen und gleichsam ein Überkochen stattfinden kann, so ist damit noch immer kein Impuls für die ursprüngliche Einleitung und Fortsetzung der Aufwärtsbewegung gegeben, da die Lava der Tiefe, d. h. unter der Erdkruste, notwendig ein gleiches oder höheres spezifisches Gewicht besitzen muß, als die überlagernde Kruste. Ohne den geschilderten Antrieb würde die Lava für immer in den tieferen Regionen unter der Kruste verharren.

Auch die fluterzeugenden Kräfte der Gravitation kommen für den Auftrieb nicht in Frage, da ihre Wirkung sich in gleichem Maße auch auf die Kruste erstreckt. Sie können nur als auslösende Faktoren wirken durch Öffnung oder Erweiterung von

Rissen und Klüften bei der Verbiegung der widerstandslosen Erdrinde oder durch Auslösung von Spannungskräften.

Es ist von Interesse, festzustellen, welche Wärmemenge nötig ist, um den bewußten Gegendruck von 0,000 006 Kilogramm pro Quadratzentimeter zu erzeugen. Die Erdrinde vom spezifischen Gewicht von 3 und von 10 Meilen Dicke wiegt pro Quadratzentimeter Horizontal-Querschnitt ungefähr 22 500 Kilogramm (wie früher schon gesagt). Um diese Masse von 22 500 Kilogramm pro Sekunde 0,0 000 000 013 Meter (der Weg in der ersten Sekunde bei beschleunigter Bewegung ist gleich der halben Beschleunigung) emporzuheben, ist eine Wärmemenge pro Sekunde von $\frac{0{,}0000000013 \times 22500}{425} = 0{,}000\,000\,069$ Kalorien nötig, also nur so viel Wärme, wie gebraucht wird, um $^{7}/_{100\,000}$ Gramm Wasser um 1 Grad zu erwärmen.

Alle diese Rechnungen sind, wie schon bemerkt, ohne Berücksichtigung der Reibung angestellt worden, eines Faktors, der ja im Spiel der Kräfte und Stoffe mancherlei Abweichungen und Störungen bedingt.

Nach der hier dargestellten Theorie der vulkanischen Ausgießungen zu schließen, müßte bei jedem Lava-Erguß irgend ein benachbartes Landgebiet entsprechend sinken. Das wird auch der Fall sein. Jedoch können derartige Senkungen immer nur kleine Beträge erreichen. So groß auch manchmal die Lavamassen sind, die den Vulkanen entfließen, so würde es sich bei den dazu gehörigen Landsenkungen in der Regel doch nur um einige Zentimeter handeln. Nehmen wir beispielsweise an, daß der oben angeführte Lava-Erguß des Skaptar-Jökul auf Island nur von dem benachbarten, in Hebung begriffenen Skandinavien aus der Erde gepreßt worden wäre, so würde die skandinavische Halbinsel infolge jenes Ausbruches doch nur eine Senkung von ungefähr 4 Zentimeter erfahren haben. Noch viel geringer hätte die Senkung ausfallen müssen, wenn nicht nur Skandinavien, sondern die gesamte Erdkruste um Island herum daran beteiligt gewesen wäre.

Die aus diesen Lehren ersichtliche Natur der Vulkanausbrüche bedingt es, daß in diesen Vorgängen oft lange Pausen eintreten können. Wenn sich die Schlünde der Vulkane mit aufsteigendem

erkaltendem Material erfüllen und verstopfen, so genügt vielleicht oft nur ein geringer Reibungswiderstand oder ein geringes Hindernis, um weiterem Aufsteigen auf längere Zeit hinaus ein Ende zu machen, namentlich wenn durch das gleichzeitig mit dem Lava-Ergusse stattfindende Zurücksinken des umliegenden Landes das Gebiet des Vulkanschlotes irgendwie in Mitleidenschaft gezogen wird. Erst die Bildung neuer Risse oder die Auslaugung der Schlundfüllungen kann dann zu neuen Eruptionsbewegungen Anlaß geben, wenn gleichzeitig der beschriebene Antrieb von unten tätig ist. Der Mechanismus des Wechselspiels von Landerhebung und Vulkanausbrüchen ist ohne Zweifel auch noch mancherlei andern Einflüssen unterworfen, die entweder als hindernde oder als förderliche Faktoren auftreten können.

Einfacher als die Aufwärtsbewegungen der Lava sind die Detonationen und Explosionen bei vulkanischen Ausbrüchen zu erklären. Derartige Erscheinungen müssen eintreten, sobald die heraufdringenden glühenden Säulen mit größeren Wasseransammlungen in der Erdrinde in Berührung kommen. Trifft ein solcher glühender Strom auf Wasserschichten oder Höhlengewässer, oder ergießen sich größere Mengen von Wasser in vulkanische Spalten nach glühenden Strömen hinab oder hinüber (was durch Spaltung der das Wasser tragenden oder einschließenden Erdmassen, durch Rutschen von Schichten u. dgl. herbeigeführt werden kann), so müssen plötzlich ungeheure Mengen von Dampf und Gas entwickelt werden, wobei es vielleicht auch zur Zersetzung des Wassers kommt. Alle Explosionswirkungen beim Schießen und Sprengen mit Pulver oder andern Explosivstoffen, ebenso die zerstörenden Wirkungen bei Dampfkesselexplosionen, beruhen bekanntlich auf plötzlicher Entwicklung großer Mengen von Gas oder Dampf. In dieser Beziehung sind die gewaltigen Katastrophen am Krakatoa (1883) anzuführen, wo größere Mengen von Meerwasser in die glühenden Schlünde des Vulkans einbrachen und Detonationen erzeugten, die im Umkreise von fast 400 Meilen Radius zu hören waren.

Jedoch können die vulkanischen Explosionen auch noch in anderer Weise erklärt werden. Wenn glühendflüssige Massen aufwärts steigen, so gelangen sie unter andere Druckverhältnisse,

in Regionen geringerer Belastung. Infolgedessen müssen im Sinne Reyer's[1]) die überhitzten Wässer der glühenden Gesteinmassen, sowie die in letzteren absorbierten Gase, zur Explosion kommen, was sich auf der Erdoberfläche als Erdbeben oder als vulkanische Schuß- oder Schleuderwirkung kundgeben muß.

Hier möchte ich nun der Überzeugung Ausdruck geben, daß auch die Erdbeben, vielleicht nur mit Ausnahme mancher unbedeutender Erschütterungen, sämtlich vulkanischer Natur sind. Rührten diese Erderschütterungen vom Einsturz größerer Höhlen her („Einsturzbeben"), so müßten sich solche in Meilentiefe befinden. Nach dem im 3. Kapitel und schon S. 10ff. Dargelegten sind größere Hohlräume (nämlich von solcher Höhe und Ausdehnung, daß deren Einsturz in Fortpflanzung ganze Länder in Bewegung setzen können) in Meilentiefe unmöglich.

Was nun weiter die von den Passivplutonisten behaupteten plötzlichen Verschiebungen (Dislokationen) von Erdkrustenteilen betrifft, so kann es gar keinem Zweifel unterliegen, daß solche Verschiebungen keine jener starken vertikalen Stöße hervorbringen können, wie sie bei den vielen heftigen Erdbeben im Epizentrum gewöhnlich auftreten. Bei vielen Erdbeben sind die Stöße so heftig, daß Gegenstände der Erdoberfläche, Häuser, Gesteinmassen usw., hoch in die Luft geschleudert werden. So geschah es z. B. bei dem heftigen Erdbeben in Mitteljapan im September und Oktober 1892, beim kalabrischen Erdbeben 1783, in Riobamba 1797 und zahlreichen andern Erdbeben. Solche Vorgänge können ihre Ursache nicht in bloßen tektonischen Verschiebungen haben. Wohl treten bei Erdbeben Zerreißungen der Erdoberfläche und Verschiebungen längs solcher entstehenden Spalten ein; aber sie sind nicht die Ursache der Erschütterungen, sondern die Folgen. Es muß überhaupt entschieden bestritten werden, daß in der Erdrinde so starke tektonische Spannungen entstehen können, daß deren Auslösung heftige Erschütterungen der Erde hervorrufen können. Ich habe in den Tatsachen, den Berichten wie in der sonstigen Literatur keinen Anhalt dafür gefunden. Der theoretische Grund für meine Behauptung der

---

[1]) „Beitrag zur Physik der Eruptionen und der Eruptivgesteine." Wien 1877.

Unmöglichkeit solcher Spannungen liegt wieder in dem S. 24ff. Gesagten. Man kann ein Stück Stahl in einen Schraubstock so einspannen, daß es bei der geringsten auslösenden Berührung mit Heftigkeit davonspringt. Aber ein Stück Erdrinde von Kilometer- oder Meilendurchmesser hat keine „rückwirkende“ Widerstandskraft, keine Steifheit und Festigkeit, um in die nötige Spannung versetzt werden zu können, und ebenso fehlt den angrenzenden Gebieten der Erdrinde jede Fähigkeit, die Rolle des Schraubstockes auszuüben. Die weich-gallertartige Masse, als welche die Erdrinde in großen geographischen Ausdehnungen betrachtet werden kann, und sich bei der Fortpflanzung der Erdbeben selber zeigt und darstellt, ist zu derartigen Wirkungen wegen ihrer geringen Konsistenz gänzlich außerstande.

Auch die Tatsache, daß heftige Erderschütterungen mit Tausenden von Stößen oft monate- und jahrelang in ein und derselben Gegend fortdauern, ohne daß entsprechende tektonische Verschiebungen wahrgenommen wurden oder nachgewiesen werden konnten, spricht entschieden gegen die passivplutonistische Lehre von der tektonischen Natur der großen Erdbeben. Vor allem ist die Tatsache wichtig, daß bei den meisten Erdbeben, auch bei den schwächeren, die heftigsten Erschütterungen an gewissen einzelnen Stellen innerhalb des erschütterten Gebiets vorkommen.

Solche Vorgänge, wie die Erdbeben mit ihrer Gewalt im Epizentrum, mit ihrer Abnahme nach den Seiten und mit ihren Detonationen und Getösen, **können** nur von Explosionen in der Erdrinde herrühren. Man kann sich denken, daß sämtliche großen und die meisten kleinen Erderschütterungen die Wirkungen vulkanischer Explosionen sind, die sich innerhalb der Erdrinde, unter der Oberfläche abspielen. Namentlich muß man die Möglichkeit ins Auge fassen, daß überhitzte Wässer der Lavasäulen in gewisser Höhe sich plötzlich in Dampf verwandeln (Siedeverzug) oder daß die an zahlreichen Stellen der Erdrinde heraufdringenden Lavaströme bei ihren innerirdischen Durchbrüchen vielfach auf Wasseransammlungen oder auf von Wasser stark durchtränkte Schichten treffen. Sind diese Tiefengewässer im Verhältnis zu den Lavasäulen so groß und ausgedehnt, daß den Spitzen der glühenden Ströme bei den

Explosionen die Wärme stets hinreichend entzogen und diese Wärme durch die entwickelten Dämpfe in die benachbarten Erdmassen verteilt wird, und kommt eine solche Lavasäule schon in der Tiefe zum Stillstande (wegen zu schwachen Antriebes oder wegen zu großer örtlicher Reibungswiderstände), so können trotz wiederholter Explosionen Aus- und Durchbrüche zur Oberfläche für längere Zeiträume oder für immer verhindert werden, und nur allmälige örtliche Erhebungen des Landes werden dabei stattfinden. Es werden sich dann in größerer oder geringerer Tiefe vielleicht lakkolithische Formen ausbilden.

Der vulkanische Charakter der Erdbeben zeigt sich vor allem in der Ähnlichkeit ihrer Stöße mit den Erschütterungen bei Vulkanausbrüchen, alsdann in dem unterirdischen Donner und dem Getöse, die bei Erdbeben in der Regel gehört werden.

---

5. Die Entstehung der Inseln und der Gebirge.

Die Zeit liegt nur ungefähr 50 bis 60 Jahre zurück, da viele Geologen mit Elie de Beaumont noch annahmen, daß jedes Gebirge in einem einmaligen Bildungsakte erhoben worden sei. Heute besteht wohl über keinen Gegenstand des geologischen Gebietes unter den Fachmännern eine größere Übereinstimmung, als darüber, daß jedes Gebirge mit Ausnahme mancher vulkanischen Berge unter vielen kleineren und meist partiellen Erhebungen oder gar in allmäligem Wachsen zu seiner schließlichen Höhe aufgerichtet worden ist.

Wenn wir nun jetzt an die Frage herantreten, welche Kräfte bei der Aufrichtung der Gebirge tätig waren, so wollen wir uns zunächst eine wichtige Tatsache vor Augen halten: Es ist die unverkennbare Übereinstimmung der Gebirgsketten, der Inselreihen und der Vulkanlinien, erstens hinsichtlich der Form in der Horizontalfläche, zweitens (bei vielen dieser Reihen) hinsichtlich der Lage zu den Kontinenten oder zu den relativen oder absoluten Hochebenen. Es kann nicht dem geringsten Zweifel unterliegen, daß beispielsweise die große Ähnlichkeit des Verlaufes der Alpen, der Karpathen, der transsilvanischen Alpen mit Balkan, der Sierra Nevada in Spanien mit der

Fortsetzung in Afrika, des Himalaja, der Cordilleren von Bolivia bis Trinidad und der Gebirge vom Monte San Valentin bis Feuerland, ferner der Erhebungen von Panama bis zum See von Nicaragua, der ost-australischen Gebirge und mancher anderer Höhenketten, einerseits, mit den Reihenformen vieler Inselgruppen andererseits kein Zufall ist. Diese Ketten sind aber wiederum oft genug zugleich Reihen tätiger und erloschener Vulkane, so bekanntlich die kleinen Antillen, die Liukiu-Inseln, die Kurilen, und andere Gruppen, während auch manche Gebirgsketten gleichzeitig Reihen von Feuerbergen darstellen, wie die schon angeführten Cordilleren und ihre Fortsetzungen in Panama.

Dazu kommt, daß viele Inselketten in der Nähe von Festländern liegen, auch, daß sich mächtige Gebirgs- und Vulkanzüge in auffälliger Weise am Rande von solchen Landsockeln aufgetürmt haben.

Diese merkwürdigen Verhältnisse weisen mit Bestimmtheit auf einen kausalen Zusammenhang zwischen den Festlandskomplexen und den Gebirgs-, Insel- und Vulkanketten hin. Namentlich gilt das von der Tatsache, daß in zahlreichen Gegenden der Erde Hochebenen oder Kontinente (relative Hochebenen der Lithosphäre) von Gebirgsketten umsäumt sind, sowie daß viele Inselreihen am Rande von seichten Meeren (Hochebenen des Meeresgrundes) liegen.

Es ergibt sich hieraus unmittelbar die Frage, ob ähnliche Faktoren, wie diejenigen, welche nach der Darlegung des 4. Kapitels die Vulkanberge hervorbrachten, auch die Urheber der Inseln und Gebirge gewesen sind. Diese Frage muß mit „ja“ beantwortet werden. Ich will zunächst kurz darlegen, welche weiteren Vorgänge im Gefolge der im 2. und 4. Kapitel geschilderten Landerhebungen auftreten müssen.

Es ist zuerst der wohl sehr häufig auftretende Fall ins Auge zu fassen, daß glühende aufsteigende Ströme unterwegs erstarren (sei es, daß ihnen ihre Wärme in gewisser Höhe des Weges durch Wasserberührung beständig entzogen wird, oder sei es, daß die Aufwärtsbewegung wegen zu schwachen Antriebes oder zu großen Widerstandes der zu durchbrechenden Erdmassen sich stark verlangsamt) und auf diese Weise vorzeitig ihre Leichtflüssigkeit einbüßen. Ein solcher Strom verliert dabei selbst-

verständlich die Fähigkeit, durch enge Kanäle und Klüfte zu dringen, nicht aber notwendig auch die Fähigkeit, sich weiter nach oben zu schieben, vorausgesetzt, daß ein weiterer Antrieb von unten stattfindet. Die naturgemäße Folge des Nachschiebens und Nachdrängens des Stromes von unten und der Behinderung oben ist, daß die Masse sich oben anstaut und verbreitert, die darüber befindlichen Schichten und Erdmassen langsam hebt und oben auf der Erdoberfläche eine Gebirgserhebung erzeugt. Nimmt die Aufwärtsbewegung, namentlich unter dem Antriebe neuer, von unten nachdrängender Massen, ihren Fortgang, unter mancherlei Wechsel der Angriffsstelle oder des Hauptantriebes, so entsteht allmälig eine ausgedehntere Gebirgserhebung mit Verwerfungen von Schichten und allerlei langsam sich vergrößernden Störungen der ursprünglichen Lage. Unter fortdauerndem Empordrängen von neuen Massen aus der Tiefe geht oben die Verwitterung und Abschwemmung der Schichten und Gesteine vor sich. Die Spitzen und Lakkolithen verschwinden, und das Gebirge erscheint schließlich in seinem Massiv aus Massengesteinen gebildet, welche in tieferen Regionen erstarrten.

Es ist also bei diesem Empordrängen von Massengesteinen nicht erforderlich, daß sich diese Gesteine noch im Zustande der Glut bzw. der Glutweichheit befinden, wie schon aus dem 3. Kapitel hervorgeht. Auch erstarrte Massen sind, wie dort nachgewiesen wurde, bei genügender Größe plastisch, bzw. unfähig, ihre äußere Form aus eigener Kraft zu erhalten. Nur die Kompaktheit, ich will sagen: die Zusammenhangs-Ausdehnung einer Gesteinmasse (das Maximum der Ausdehnung eines Stückes derselben, mit welcher die Fähigkeit des inneren Zusammenhanges noch verbunden ist) wird eine größere, wenn sie erkaltet. Ein Tropfen Wasser mißt 2 Millimeter im Durchmesser, ein Tropfen zähflüssiges Eisen vielleicht 8 bis 10 Millimeter. Eine Masse glühendes, nicht flüssiges Gestein ist in der Größe von einigen Metern widerstandsunfähig; eine Kugel glühendes, nicht flüssiges Gußeisen kann vielleicht 8 oder 10 Meter Durchmesser haben, ohne durch die eigene Schwere die Kugelform zu verlieren, und bei einer erkalteten Granitmasse ist die Grenze der inneren Widerstandskraft vielleicht bei der Größe von 1 oder 2 Kilometer erreicht. Daß die härtesten Gesteine die Widerstandskraft bei

hohen Beanspruchungen verlieren, zeigen die kleineren Falten, in welche solche Gesteine an manchen Stellen gebogen worden sind, ohne zu brechen. Heim, Baltzer und andere Geologen zeigten bekanntlich, daß die Gesteine unter hohem Drucke plastisch, weich und bildsam werden. Professor Heim sah schon eine Belastung von 2000 Meter Schichtenmaterial (ungefähr 500 bis 550 Atmosphären) als genügend an, um solche Weichheit und Plastizität zu erzeugen. Gümbel fand durch mikroskopische Untersuchungen von spröden, harten, in kleine Falten gebogenen Gesteinen, daß die Steinsubstanz an den Stellen der stärksten Biegungen zu feinem Staube zermalmt und dann wieder verkittet worden ist. Bei Metallen ist es gelungen, dieselben durch künstlichen Druck plastisch zu machen, und man hat Metallstücke durch starke Pressung miteinander vereinigen können, wobei ein Druck von 5000 Atmosphären genügte.

An der Hand solcher Tatsachen kann es keinem Zweifel unterliegen, daß sogar erkaltete Massengesteine ein ausbruchsfähiges Material darstellen, vorausgesetzt, daß sie von unten weiter gedrängt und gehoben werden. Und zwar müssen gerade solche Gesteine beträchtliche Verwerfungen und Störungen der Lage von aufliegenden Schichtgesteinen herbeiführen, während die glühendweichen bis glühendflüssigen Massen (der oben vorgeführten Reihe entsprechend) die Fähigkeit besitzen, in enge Spalten einzudringen und „Gänge“ zu bilden, sich aber eben deswegen an den Störungen weniger beteiligen können. —

Nach alledem zu schließen müssen sich in derselben Weise, wie Vulkanreihen, auch Inselketten und Gebirge am Rande oder in der Nähe von Kontinenten oder an der Grenze von aufsteigenden Meeresgründen oder von Hochebenen bilden. Dabei können alle Übergänge von der vulkanischen Aufschüttung ohne bedeutende Erhebungen der Schichten bis zum granitischen Gebirge mit großen Verwerfungen der Schichtgesteine auftreten. Erfolgt der Durchbruch genügend rasch, so werden die Massen noch in glühendem und glühendflüssigem Zustande an die Oberfläche gelangen, oben überfließen und als Lava, als vulkanische Eruptivgesteine (Melaphyre, Porphyrite, Quarzporphyre, Trachyte, Phonolithe, Basalte, Andesite, Obsidiane usw.) vulkanische Berge anhäufen oder sonstwie die obersten Sedimentschichten bedecken.

Steigen aber die glühenden Säulen nur langsam auf, so daß sie Zeit haben, innerhalb der Erdrinde zu erstarren (ich erinnere hier wieder an den Felsturm des Mont Pelé), oder erkalten sie unterwegs unter Explosionen durch reichliche Wasserberührung, so können sich plutonische Eruptivgesteine (Granite, Syenite, Diorite, Diabase, Gabbro usw.) bilden, welche erst später zu Tage treten, wenn die obersten Massen und Schichten abgetragen worden sind, oder wenn solche im Innern der Erdrinde erstarrte oder sehr zähflüssig gewordene Eruptivmassen noch hinterher von unten durch nachrückende Massen gedrängt und noch weiter gehoben werden. Es müssen dann, im Laufe langer Zeiträume, durch Abtragung und Empordrängen Gebirge entstehen, wie die zahlreichen Granitgebirge und andere plutonische Erhebungen, mit zahlreichen und großen Aufrichtungen sedimentärer Gesteine. So können eruptive Gesteine sedimentäre Schichten heben oder aufrichten, ohne daß sie jünger sind, als die gehobenen Schichten. Dabei können ferner diese letzteren (namentlich an sehr hohen Gebirgserhebungen) allmälig abrutschen und sich falten, wie ein Tischtuch, welches auf glattem Tische beiseite geschoben wird, oder es können sich auf horizontaler Basis ausgedehnte Zusammenschiebungen und Faltungen der Erdrinde infolge gewaltiger Massendurchbrüche vollziehen, wie z. B. die Falten der Juraketten in der Nachbarschaft der Alpen.

Ich schließe also die Lehre von Faltungen keineswegs aus. Doch erscheinen sie hier nur als sekundäre Gebilde, als Nebenwirkungen anderer, großer, primärer Vorgänge.

Wir können hier noch eine nicht unwichtige Folgerung aus der vorgetragenen Lehre der Entstehung von Vulkanen und Gebirgen anschließen. Die Reibungswiderstände vermehren den Druck, welchen eine in Erhebung begriffene Kruste nach unten zu ausübt. Gleichzeitig vermindern sie auch den Aufstieg der Eruptivmassen. Deshalb müssen zeitweise größere oder geringere Spannungen entstehen, welche je nach Umständen die Gleichmäßigkeit der Erhebungen beeinträchtigen oder verhindern und an deren Stelle eine Erhebung mit zeitweisen Stillständen setzen, abwechselnd für beide Erhebungsgebiete. Es würden sich auf diese Weise die von Stillständen der Hebung resultierenden

Strandlinien mancher Küsten erklären lassen. Auch könnten die allmälig auftretenden Spannungen und ihre Auslösungen nicht ohne Einfluß auf die Eruptionstätigkeit der Vulkane und auf die Ursachen der Erdbeben bleiben.

So kommen, wenigstens teilweise, die Ansichten der älteren Geologen wieder zu Ehren, die z. B. der verdienstvolle Bernhard v. Cotta in folgenden Worten zum Ausdruck brachte: „Gewiß sehr bezeichnend ist es für alle Gebirge und in engster Beziehung zu ihrer Bildungsweise, daß in ihnen vorzugsweise häufig die eruptiven oder metamorphischen kristallinischen Gesteine (Granit, Gneiß, Glimmerschiefer, Syenit, Grünstein, Porphyr, Trachyt, Basalt usw.) auftreten, und daß die deutlich aus Wasser abgelagerten, geschichteten Sedimentärgesteine, wo sie im Innern von Gebirgsketten sich zeigen, stets deutlich aus ihrer ursprünglichen Lagerung gerückt, gehoben, gebogen, geknickt, aufgerichtet oder vielfach zertrümmert sind. Es deutet dieses allgemeine Verhalten sehr bestimmt auf die gewaltsame Art der Gebirgsbildung hin; ja es ergibt sich daraus als allgemeinstes Resultat, daß alle Gebirge durch vulkanische oder plutonische Tätigkeit erhoben sind“ [1]).

Haben die Gebirge mit Massengestein-Kernen im wesentlichen den gleichen Ursprung, so müssen zwischen den beiden Gegensätzen, den vulkanischen Gebirgen mit äußerer Anhäufung von flüssiger Lava, und den plutonischen mit granitischen Kernmassiven alle möglichen Zwischenarten und Abstufungen vorhanden sein. Das ist bekanntlich auch der Fall. Es gibt lange Übergangsreihen von den Graniten und Syeniten über die Porphyre bis zu den Trachyten, Basalten und Obsidianen. Alle die vielerlei Arten der Massengesteine, von den kristallinischkörnigen bis zu den dichten und glasigen, sind weder nach der mineralogischen Zusammensetzung, wie nach ihrer Struktur und Textur, noch durch chemische Analyse ihrer Mineralien, in zwei scharf geschiedene Klassen zu trennen. So wie sich nun die Eruptiv- bzw. Massengesteine nicht in zwei streng und wesentlich verschiedene Klassen sondern lassen, so kann man auch die Gebirge, in welchen jene Gesteine als Stöcke, Lakkolithen, Zentralmassive usw. auftreten, ihren inneren wie äußeren Formen

---

[1]) „Geologische Bilder“, Leipzig 1876, S. 240 und 241.

nach nicht in zwei wesentlich verschiedene Klassen scheiden; es sind alle Übergänge vorhanden.

Von großer Wichtigkeit für die Fragen der Gebirgsbildung sind die Forschungen, welche die Natur des Granits zum Gegenstande haben. Ergeben die Untersuchungen, unabhängig von den dynamisch-geologischen Ergebnissen, die eruptive Natur dieses Massengesteins, so wird die plutonisch-eruptive Bildung der Granitgebirge, und damit aller Gebirge mit Massengestein-Kernen, fast über jeden Zweifel erhoben.

Es sind viele Versuche gemacht worden, die Entstehung der Granite auf andere Prozesse, als die der Erstarrung aus glühendem Flusse, zurückzuführen. Eine der neueren Erklärungen dieser Art ist die des Professor Oskar Fraas. Dieser Forscher erklärte die Granitmassen des Schwarzwaldes, der Vogesen, des Odenwaldes, des Harzes usw., wie auch Diorite und andere ältere Eruptivgesteine, für Substanzen ehemaliger Sedimentschichten der Primär- und der Sekundärformation, welche durch gewisse Salze, vorwiegend durch Natron- und Kalisalze, die aus dem heißen Erdinnern als Dämpfe oder im Schmelzzustande aufgestiegen seien, unter Einwirkung hoher Wärme geschmolzen, verglast, aufgebläht und emporgetrieben worden wären. Das steht, wie ich hier einschalten will, auch in einem gewissen Gegensatze zu den passivplutonistischen Lehren. Während diese in ihren Hypothesen über die Entstehung der Gebirge im wesentlichen alle aktiven Wirkungen des Wärme-Magazins im Erdinnern, jeden wesentlichen Einfluß physikalischer Prozesse in der Erdrinde auf die Gestaltung derselben bestreiten, und behaupten, daß die Formen der Erdoberfläche hauptsächlich nur von Zusammenbruch, Abbruch, Absinken, Faltung, Seitenschub herrühren, legt Fraas mit andern Geologen großes Gewicht gerade auf Erklärungen, die sich auf die Annahme chemischer und physikalischer Prozesse gründen. Fraas lehrt z. B. auch, daß Schwefelwasserstoff- und andere Verbindungen die Umwandlung der Zechstein-Kalke in Gips bewirkt hätten, durch dessen Aufblähung wieder andere überlagernde Schichten (Buntsandstein) aufgerichtet worden seien[1]).

[1]) „Geognostische Beschreibung von Württemberg, Baden und Hohenzollern.“ Stuttgart 1882.

Was nun den Ursprung der Granite betrifft, so darf deren feurig-plutonische Entstehung jetzt als sicher gelten. An zahlreichen Orten sind Veränderungen der mit dem Granit in Berührung gekommenen Gesteine zu sehen, die von ehemaligem Glühzustande des ersteren unzweideutiges Zeugnis ablegen. So — um wenigstens einige Beispiele anzuführen — haben die mächtigen Granitmassen des Monte Adamello die angrenzenden Triasschichten stark verändert, Kalke wurden in Marmor verwandelt, und Mineralbildungen sind entstanden, wie solche auch als Wirkungen der glühenden Lava an Vulkanen bekannt geworden sind. Am Granit von Eibenstock und Oberschlema im Erzgebirge erscheint die Phyllitformation in gewissem Abstande vom Granit in Fruchtschiefer mit unveränderter Schiefermasse, näher dem Granit in solchen mit kristallinischer Schiefermasse, noch näher in schieferige Glimmerfelse, und nächst dem Granit in Andalusit-Glimmerfels umgewandelt. Derartige Veränderungen (Kontakt-Metamorphosen) finden sich auch an den Graniten des Harzes, der Sudeten, der Vogesen, in Cornwallis, der Bretagne, der Pyrenäen usw. Wo die Granitmassen durch weitere, spätere Erhebung (wovon S. 39ff. die Rede war) nach der Abkühlung mit andern Gesteinen in Berührung gekommen sind, müssen diese Metamorphosen natürlicherweise fehlen.

Betreffs der Entstehung des Granits will ich hier anführen, was Professor Dr. Hermann Credner[1]) über die Bildung der Eruptivgesteine sagt:

„Die Eruptivgesteine sind in glutflüssigem Zustande aus der Tiefe der Erde hervorgetreten und an der Oberfläche oder nahe derselben mehr oder weniger rasch erstarrt. Die Durchtränkung des glutflüssigen Magmas durch überhitztes Wasser oder durch Wasserdampf sowie durch andere Dämpfe und Gase ist bei dieser Entstehungsweise nicht ausgeschlossen, darf im Gegenteil auf das Bestimmteste vorausgesetzt werden. Auf eine Mitwirkung des Wassers bei Bildung der Eruptivgesteine auch in den früheren geologischen Zeitaltern weist schon die Analogie mit den Explosionserscheinungen der heutigen Vulkane hin. Jede Eruption

---

[1]) In seinem Lehrbuche: „Elemente der Geologie", 6. Aufl., Leipzig 1887, S. 293ff.

ist mit enormen Dampfausströmungen und Explosionen verbunden, und ebenso entwickeln die Lavaströme selbst, bis sie erkalten, aus ihren Rissen und Spalten große Mengen von Wasserdämpfen. Die flüssige Lavamasse muß deshalb von überhitztem Wasser oder Wasserdampf durchtränkt sein, wenn sie sich auch in erstarrtem Zustande fast vollkommen wasserfrei erweist. Der Wassergehalt, der in zahlreichen Eruptivgesteinen nachgewiesen ist, kann an und für sich nicht als maßgebender Beweis für Mitwirkung des Wassers bei Bildung derselben angesehen werden, da er erst später eingedrungen sein mag. In vielen Eruptivgesteinen sind jedoch die Belege für die Teilnahme des Wassers an ihrem Bildungsvorgange gewissermaßen versteinert erhalten, nämlich in Gestalt mikroskopisch kleiner Hohlräume, welche Wasser oder wässerige Solutionen, z. B. von Chlornatrium, umschließen. Diese Flüssigkeitseinschlüsse sind in den Quarzen fast aller und in den Feldspäten vieler Granite, Syenite, Quarzporphyre und Malaphyre in unzähliger Menge vorhanden.

Auch eine Reihe eigentümlicher Erscheinungen im Kontakte gewisser Eruptivgesteine mit ihrem Nebengesteine (gewisse Kontakt-Metamorphosen) finden ihre befriedigende Erklärung allein durch den ursprünglich durchwässerten Zustand des schmelzflüssigen Materials der ersteren. Man kann nur annehmen, daß das überhitzte Wasser, das sich bei Abkühlung der Eruptivmassen ausschied, zum Teil mit Mineralsubstanzen beladen, in das Nebengestein eindrang und zur petrographischen Umbildung desselben Veranlassung gab. Eine wesentliche Unterstützung finden diese Ansichten in den Untersuchungen Daubrée's[1]), aus welchen die große mineralbildende Kraft des überhitzten Wassers hervorgeht. Durch Einwirkung des letzteren gelang es ihm unter Anderem, Quarz und Feldspat darzustellen und Obsidian in eine feinkörnige, trachytähnliche Masse umzuwandeln."

Nachdem Credner nun dargelegt hat, wie das Eindringen von Wasser in das glutflüssige Erdinnere zu denken ist, und daß auch andere Gase und Dämpfe in den glühenden Gesteinmassen als Liquida absorbiert enthalten sind, fährt er fort:

---

[1]) „Experimental-Geologie." Übersetzt von Gurlt. 1880, S. 119—179.

„Gelangt ein derartiges Magma an die Erdoberfläche, so entweicht der größte Teil der Liquida; infolge davon zerspratzt die Lava oder bläht sich auf und erstarrt schlackig, porös und glasig, oder dicht und nur teilweise kristallinisch. Erkaltet es aber unter hohem Drucke in der Tiefe, so werden die Liquida länger zurückgehalten und es tritt eine gleichmäßig-körnige, vollkristalline Erstarrung ein. Auf diese Weise können aus dem nämlichen Eruptionsmateriale an der Erdoberfläche Laven und Gläser, porphyrische, felsitische und glasreiche Gesteine (vulkanische Gesteine), in der Tiefe des Kanales vollkristalline Gesteine (Tiefengesteine, plutonische Gesteine) entstehen [1]). Die Basalte, Phonolithe, Trachyte und Andesite nebst ihren Laven und Gläsern würden nach dieser Auffassung nur die äußersten, an die Oberfläche der Erde reichenden Zweige von Eruptivmassen vorstellen, die in größerer Tiefe unter dem Drucke der darüber lastenden Säule zu granit-, syenit-, diorit- und diabasartigen Modifikationen erstarrten. Der strukturelle Unterschied zwischen solchen plutonischen und den vulkanischen Gesteinen beruht somit nicht auf ihrem verschiedenen geologischen Alter, sondern vielmehr auf ihrem Niveau zur Erdoberfläche. Ihre Altersunterschiede sind nur scheinbare, indem die plutonischen Gesteine überall dort, wo sie jetzt zu Tage treten, aus älteren Perioden stammen, weil eben lange Zeiten nötig waren, um die Erdoberfläche bis hinab in das Niveau dieser vollkristallinen Erstarrungsprodukte zu denudieren," oder auch, setzen wir hinzu, weil lange Zeiten nötig waren, um die nahezu oder ganz erstarrten Granite und Syenite gebirgsbildend emporzuheben. Und Professor G. vom Rath sagt speziell über den Granit [2]):

„Die Entstehung des Granits — dies ist eins der größten geologischen Rätsel. Die Vulkane erzeugen zwar noch heute Basalte und Trachyte, aber Granit entsteht nicht mehr, wenigstens nicht in den uns zugänglichen Tiefen der Erdrinde. Vergeblich waren auch alle Versuche, künstlich — durch einen Schmelzfluß — irgend etwas darzustellen, was dem körnig-kristallinen Gemenge des Granits ähnlich ist. Fremdartig steht es da unter

---

[1]) Nach Bernh. v. Cotta, „Geologie der Gegenwart" und anderer von Credner angeführter Literatur.

[2]) „Über den Granit", Berlin 1878, S. 36 und 37.

den gegenwärtigen Erzeugnissen des Tellus. Es spricht der Granit das Geheimnis seiner Entstehung nicht aus.“ (Dieser Ausspruch geht wohl etwas zu weit. Ich weise auf die vorangegangenen Darlegungen Credner's hin.)

„Mit unserer Frage nach der Bildung des Granits werden wir auf die Erdtiefe, auf das Erdinnere verwiesen. Aus der Tiefe sind die Granitmassen emporgestiegen. Je rätselhafter Korn und Gemenge des Granits uns erscheinen, um so wichtiger ist es, die Lagerung des Gesteins zu erforschen, die Form und Begrenzung seiner Massen zu untersuchen sowie die Wirkungen auf das Nebengestein.

Die Grenzflächen zwischen dem Granit und den gewöhnlich ihn umlagernden schieferigen Gesteinen setzen meist steil zur Tiefe nieder. Als ungeheure, oben abgestumpfte Kegel oder Keile dehnen die Granitmassive sich gegen die Tiefe aus. Zuweilen sind diese Kontaktebenen ganz seltsam treppenförmig gebrochen. Nicht selten ist auch der Granit über die Schiefer mit steiler Grenze hinübergelehnt. Beispiele für diese Lagerungen erblickt man auf das Deutlichste fast überall, wo tiefe Täler jene Grenze bloßlegen, so im Harz, im Riesengebirge, an der Cima d'Asta, am Monte Motterone, auf Elba. Zuweilen ruht der Granit auch wohl mit annähernd horizontaler oder unregelmäßg gewellter Grenzfläche auf den Schiefern. Doch auch in diesem Falle fehlen die deutlichsten Durchbrüche nicht, die Gänge, auf denen die Granitmassen emporstiegen ... Daß der Granit aus der Tiefe emporgestiegen, daß er ein eruptives Gestein, ist durch die Untersuchungen aller beobachtenden Geologen seit Hutton bewiesen. Diese Beobachtungen haben ein um so größeres Gewicht, als es galt, stets von neuem sich erhebende Bedenken zu beseitigen, welche auf dem so dunkeln Gebiete der Gesteinsbildung sehr berechtigt sind. Unter den wichtigeren Beobachtungen der letzten Jahre sind vor allem diejenigen des Landesgeologen Dr. Karl Lossen hervorzuheben. Auf dem altklassischen Boden des Harzgebirges fand er neue wichtige Tatsachen (den merkwürdigen Bodegang), welche nicht nur die eruptive Natur des Granits außer Zweifel stellen, sondern auch die Entstehung dieses Gesteins aus dem Jugendzustande des Planeten in eine gewisse Beziehung bringen zu den Erzeugnissen der Vulkane. Der Bode-

gang deutet einen unterirdischen Zusammenhang des Ramberg- mit dem Brockenmassiv an, ‚eine Aufreißungsspalte, in der das heißflüssige, granitische Magma durch den abkühlenden Einfluß der Spaltenwände eine porphyrische und sphärolithische Struktur angenommen'."

So darf der Ursprung des Granits **aus glühendem Schmelzzustande** und die **eruptive Natur dieses Gesteins** als festgestellt gelten. Dieses Resultat ist in guter Übereinstimmung mit den Darlegungen dieses Kapitels. Dasselbe ist zu sagen bezüglich der Durchwässerung der heißflüssigen Gesteinmassen und des im Kapitel 2 über das Eindringen des Wassers in die heißen Tiefen Ausgeführten.

---

6. Vulkanismus und Gebirgsbildung. Die Vertikalformen der Gebirge und Vulkane.

Nun entsteht die Frage, ob auch ein erdgeschichtlich-zeitlicher Zusammenhang zwischen den beiden Endgliedern der Reihe, den vulkanischen Bildungen einerseits und den granitischen Gebirgen andererseits, besteht. Sind erstere vielleicht die ursprünglichen Formen der Erhebungen, aus denen im Laufe langer Zeiträume und unter Beseitigung der ursprünglichen Bildungen und mancherlei Umwandlungen schließlich plutonische und archäische Gebirge hervorgehen?

Das muß in der Tat behauptet werden, allerdings mit einer nachher zu erwähnenden Einschränkung.

Es ist wahrscheinlich, daß die große Mehrzahl aller Vulkane ursprünglich auf dem Grunde des Meeres entstanden ist. Dafür sprechen die Tatsachen, daß die meisten Vulkane als Inseln vom Meeresgrunde aufragen oder sich in der Nähe des Meeres befinden, ferner, daß die Erdgebiete mit tätigen Feuerbergen meistens in aufsteigender Bewegung begriffen sind. Der Seeboden muß im allgemeinen für die Entstehung tiefgehender Klüfte, und damit für die Bildung von Vulkanen, günstiger sein, als die durch Aufblähung seitlich pressenden Fladen der Kontinente. Die vom Meere bedeckten Teile der Erdrinde erfahren ohne Zweifel die stärkste Abkühlung, weil hier keinerlei Erwärmung durch die Sonne, dagegen eine ununterbrochene Erkältung durch das zirkulierende

Meerwasser vor sich geht, dessen unterste Regionen, wie die Tiefsee-Forschungen gezeigt haben, selbst in der Tropenzone fast eiskalt sind. Auch erfolgt in den unter den Ozeanen befindlichen Teilen der Erdrinde keine solche Erwärmung und Volumensvergrößerung durch hydrothermische Prozesse, wie in der Erdrinde der Kontinente, weil erstere sonst nicht den tiefliegenden Boden der Ozeane bilden würden. Die den Meeresboden bildende Erdrinde muß also eine stärkere Zusammenziehung und ausgedehntere Zerklüftungen erleiden, als die Erdrinde der Kontinente. So müssen vulkanische Gebirge ursprünglich vorzugsweise sich vom Meeresgrunde aus erheben, und zwar müssen die **höchsten** Erhebungen dieser Art (vulkanische Inseln und Inselketten) in der Nähe der Kontinente entstehen, weil hier der zum Auftrieb der Lava erforderliche, von den Landgebieten ausgehende Impuls am stärksten wirkt, während er sich nach der Mitte der Ozeane hin entsprechend abschwächt, falls der Meeresboden nicht selbst in Erhebung begriffen ist und vulkanische Eruptionen bewirkt.

Die zahlreichen Tatsachen der unterseeischen Ausbrüche, der Neubildungen von vulkanischen Inseln und des Vorhandenseins älterer derartiger Erhebungen sind Belege für diese Lehre.

Nach alledem ergibt sich, daß durchschnittlich (ideal) folgende Entwicklung der Inseln und Gebirge stattgefunden haben muß:

Zuerst vulkanische Ausbrüche unter dem Meeresspiegel oder an der Küste, nach und nach Erhöhung der betreffenden Gebiete infolge weiteren Heraufdrängens von eruptiven Gesteinmassen. Die äußerlichen Anhäufungen der Ausbrüche haben zunächst nur geringe Dauer; die ausgestoßenen Massen werden von den Wogen des Meeres in kurzer Zeit wieder fortgespült und abgeschwemmt. Aber allmälig stellen sich die solideren Bildungen ein, die in größeren Tiefen erstarrten Gesteine, welche jetzt mehr und mehr, von unten gedrängt, aufsteigen. Die entstehenden vulkanischen Inseln werden so durch Nachdrängen von unten allmälig höher gehoben, und gleichzeitig werden ihre oberen aufgehäuften Eruptionsprodukte unausgesetzt abgetragen und weggeschwemmt. In allmäliger weiterer Auftreibung von unten und Abwitterung der oberen Massen treten umfangreichere Störungen der Schichtenlagerung auf. Schließlich kommen auch archäische Gesteine an die Oberfläche, und die ganze Erhebung

kann, wenn der Prozeß ungestört verläuft, zuletzt den Charakter eines plutonischen und archäischen Gebirges empfangen, wie es Riesengebirge und Böhmerwald, Harz und Odenwald sind. Modifikationen und Störungen dieser Entwicklung können freilich in verschiedener Weise eintreten.

Inzwischen nimmt auch die eigentlich vulkanische Tätigkeit noch einige Zeit ihren Fortgang. Neue Klüfte und Spalten eröffnen für neue Lavasäulen neben den aufgetriebenen Gesteinmassiven neue Wege, sodaß der nachher kommende Beschauer glauben kann, daß Gebirgsbildung und Vulkanismus wesentlich verschiedene Erscheinungen seien.

Indem sich so unter der Druckwirkung nahe gelegener Landmassen durch Klüfte und gelockerte Gebiete der Erdrinde Vulkane aus dem Meere heben, können solche Vulkanreihen in der Nähe von Kontinenten entstehen, wie diejenigen der ost-asiatischen Inselvulkane in der Nähe des asiatischen Sockels. Entwickeln sich dann weiter die vulkanischen Ketten im Laufe zahlreicher Jahrtausende unter Abtragung und Erhebung zu plutonischen Gebirgen, und erhebt sich dann auch der zwischen den Gebirgsketten und dem Lande liegende Meeresboden über das Wasser, so erscheinen die vulkanischen und plutonischen Ketten am Rande eines Kontinents. Auf diese Weise werden vielleicht später die Insel-Reihen Ost-Asiens die Ostküste des asiatischen Festlandes bilden.

Jene ersten vulkanischen Anfänge unserer heutigen plutonischen und archäischen Gebirge oder die Perioden, in welchen sie aufgetreten sind, lassen sich mittels der uns zur Verfügung stehenden Methode der Altersbestimmung nicht erkennen. Bekanntlich läßt sich aus der Lage und dem Alter der aufgerichteten und der nicht aufgerichteten Schichten eines Gebirges nur feststellen, in welcher geologischen Periode die noch jetzt vorhandenen Teile der betreffenden Ablagerungen erhoben wurden und in welcher Periode die Erhebungen abgeschlossen waren, nicht aber, in welcher Periode die ersten Erhebungen oder Eruptionen überhaupt stattfanden. Wenn die aufgerichteten Teile alter Schichten heute nicht mehr vorhanden sind, weil sie in früheren Zeiten zerstört und abgeschwemmt wurden, so ist heute nicht mehr festzustellen, ob das Gebirge vor oder nach

Ablagerung jener alten Schichten seinen ersten Anfang nahm. Das Gebirge erscheint dann jünger, als es in der Tat ist. Die beigegebene Abbildung 1 soll das erläutern. Die obere Zeichnung zeigt die Formation 1 aufgerichtet, während 2 horizontal liegt. Die erste Erhebung fand also vor Ablagerung der Sedimente 2 statt. In der unteren Figur erscheinen beide Formationen konkordant gelagert, und es sieht aus, als ob die erste Erhebung erst nach Ablagerung von 2 erfolgt wäre; die diskordanten

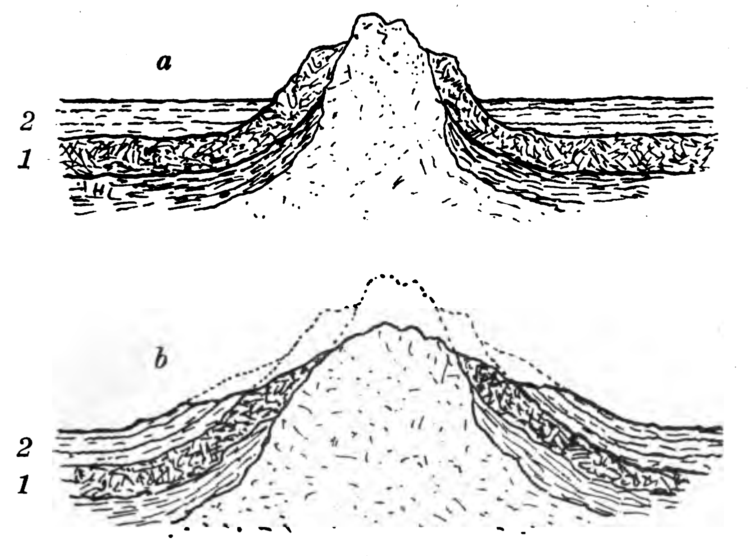


Abbildung 1.

Gebirgserhebung, deren Anfang nicht mehr zu erkennen ist, im früheren *(a)* und im heutigen Zustande *(b)*.

(punktiert gezeichneten) Schichtenköpfe sind eben nicht mehr vorhanden.

Ebenso unsicher ist der Anfang von Gebirgen, deren erste Durchbrüche ohne Schichtenstörung stattfanden. Hieraus geht hervor, daß der vulkanische Ursprung der Gebirge, falls ein solcher stattgefunden hat, uns in den meisten Fällen keine erkennbaren Spuren hinterlassen haben wird.

* * *

Nachdem sich als Wahrscheinlichkeit, wenn nicht als Gewißheit, herausgestellt hat, daß die vulkanischen und die plutonischen

Gebirge nicht wesentlich, sondern nur entwicklungsgeschichtlich verschieden sind und die Endglieder einer Reihe gleichartiger Erscheinungen bilden, bleibt noch eine geologische Frage hinsichtlich der Eruptionen und der Gebirgsbildung zu beantworten.

Wie wir gesehen haben, ist die Erhebung eines Gebirges über die allgemeine Fläche der Lithosphäre eine Art Aufspritzen der eruptiven Gesteine, bedingt durch die verhältnismäßig geringen Quantitäten der letzteren. Nun mußte zu der Überhöhung und Auftürmung der Gebirgsmassen auch noch ein anderer

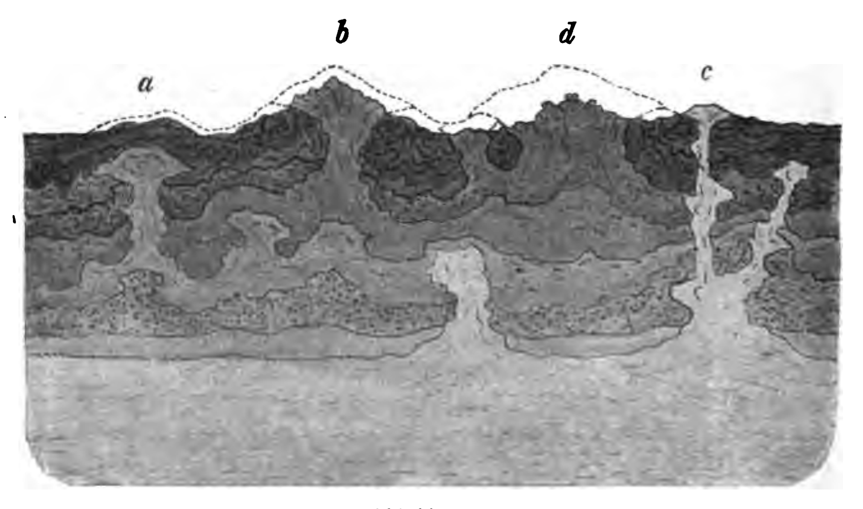


Abbildung 2.
Eruptionsmassive in lakkolithischen *(a)* und pilzartigen *(b)* bis vulkanischen *(c)* Formen. Unter *d* ein sehr altes, stark abgetragenes Eruptionsmassiv. Ideale Darstellung.

wichtiger Vorgang beitragen, welcher mit dem Empordringen verbunden war, und der insbesondere die vertikalen Formen der Gebirge und der Kernmassive bestimmte. Wir gelangen so zu einer Vervollständigung unserer Hypothese, die für höchst charakteristische Eigentümlichkeiten der Gebirgsformen eine befriedigende Erklärung darstellt.

Indem die Eruptivgesteine in ein höheres Niveau gehoben werden, gelangen sie unter andere Druckverhältnisse, in Regionen geringerer Belastung, die sich bekanntlich nicht nur in senkrechter, sondern auch in wagerechter Richtung, seitlich, äußert.

Infolgedessen müssen die Gesteinmassen in höheren Regionen sich ausdehnen, unter Entwicklung von allerlei Dämpfen und Gasen aufquellen und im Volumen zunehmen, dabei spezifisch leichter werden, als sie vorher in größerer Tiefe waren, und — vermöge der Wärme-Unterschiede und der Auflockerung durch die entstehenden Gase aus absorbiert gehaltenen Flüssigkeiten — auch leichter als die sonstigen kühleren Massen der Erdrinde durchschnittlich sind. Dieses Expandieren und Aufquellen der Gesteinmassen in oberen Schichten muß sowohl größere Erhebung über das Niveau des Landes, wie auch eine seitliche Ausbreitung innerhalb der Erdrinde wie an der Oberfläche zur Folge haben, so daß die Kernmassive in vielen Fällen lakkolithische und pilzförmige Köpfe bekommen müssen, ähnlich wie die beigegebene Abbildung es darstellt.

Da nun die Dicke der erstarrten Erdkruste im Laufe der Zeiten allmälig zugenommen hat, so wird auch die Erhebung der Berge und Gebirge seit Beginn der Eruptionen bis heute nicht in ganz der nämlichen Weise vor sich gegangen sein. Indem die Erdrinde durch innere Anlagerung erstarrender Massen an Stärke (Dicke) zunahm, mußte sich die Grenze des Glühendweichen und Flüssigen immer weiter nach unten verlegen, wobei die auf den flüssigen Massen lagernde Rinde immer größere Widerstandskraft gegen durchströmende Eruptivmassen erlangte. Durchschnittlich werden die Durchbrüche eruptiver Massen in früheren Erdaltern im Horizontalquerschnitt umfangreicher gewesen, dabei aber auch leichter vonstatten gegangen sein, als die Eruptionen von heute. Die vulkanischen Massen früherer Perioden stammten notwendig aus geringeren Tiefen, als die unserer Gegenwart. In der beigegebenen idealen Abbildung sind außer den besprochenen Eruptionsformen auch die Alters- und Ursprungsunterschiede veranschaulicht. Von den obersten Köpfen der älteren Eruptionsstöcke ist nichts mehr auf seinem Platze, und die Massive der ältesten Gebirge müssen eine mehr oder weniger abgestumpftkegelige Gestalt zeigen, weil die pilzartigen Ausbreitungen nicht mehr vorhanden sind.

Daß bei diesen Gebirgserhebungen als Nebenwirkung durch Zusammenschiebung der oberen Schichten auch Faltengebirge entstehen können, wurde schon früher (Seite 41) erwähnt.

Solche Faltungen als Nebenwirkung der Gebirgserhebungen habe ich auch in der Zeichnung angedeutet.

Hier ist der Ort, noch einen raschen Blick auf die konkreten Verhältnisse einiger Gebirge zu werfen. Namentlich kommt hier die Kette der Alpen in Betracht, deren Entstehung von den Passivplutonisten ebenfalls auf Faltung der Erdrinde zurückgeführt wird.

Diese aus vielen Gebirgsgruppen bestehende breite Kette zeigt in ihren Kernmassiven, soweit diese untersucht werden konnten, hauptsächlich die aufgerichteten Lager von Gneiß, und nur kleinere Gebiete, allerdings zum Teil die höchsten Kämme und Gipfel, bestehen aus eigentlichem Granit. Die Alpen sind, wie bekannt, ein verhältnismäßig sehr junges Gebirge; ihre letzten Erhebungen reichen bis ins Tertiär herauf, und noch in der Triasperiode gingen die Wogen der See über die Flächen der jetzigen Alpen. Man darf daher annehmen, daß in späteren Jahrtausenden weit mehr Granitflächen, als heute auf Kämmen und Gipfeln zu sehen sind, auf den Alpenhöhen zutage treten werden, nachdem das Gebirge weiter abgetragen worden ist.

Nun ist nicht unmöglich, daß wir im Gneiß der Alpen einen deformierten, einen ausgewalzten Granit vor uns haben. Bekanntlich gibt es keine scharfe Unterscheidungsgrenze zwischen Granit und Gneiß. Beide Gesteinsgattungen gehen ineinander über. Ferner konnte festgestellt werden, daß der Gneiß keineswegs, wie manche Geologen angenommen haben, seine kristalline Struktur erst durch langwierige hydro-chemische Umwandlung empfangen hat. Wäre das beim Gneiß der Fall, so müßten auch die ähnlich zusammengesetzten uralten Schichten der kambrischen und der silurischen Formation sämtlich kristallinische Textur zeigen, gleich manchen Rollstücken von Gneiß und andern kristallinischen Schiefern, die von kambrischen Gesteinen eingeschlossen vorgefunden worden sind. Auch aus andern Tatsachen geht unzweideutig hervor, daß die kristallinische Struktur des Gneißes nicht das Resultat einer allmäligen Umwandlung ist[1]. Diese Ergebnisse zeigen, zusammengehalten

---

[1]) Zu vgl. Dr. Hermann Credner, „Elemente der Geologie", 6. Aufl., Leipzig 1887, Seite 329. (Liegt zurzeit bereits in 10. Auflage vor, Leipzig 1906.)

mit der Übereinstimmung von Granit und Gneiß hinsichtlich der mineralogischen Zusammensetzung (bekanntlich aus Quarz, Feldspat und Glimmer), eine sehr nahe Verwandtschaft dieser beiden Gesteinsarten.

Weitere wichtige Anhaltspunkte hierfür besitzen wir in dem Umstande, daß beide Gesteinsarten in zahllosen Fällen wechsellagern und ohne deutliche Grenze ineinander übergehen. In dieser Beziehung sagte schon der bedeutende Geologe Naumann[1]): „Granit ist wirklich ein Gestein, welches in manchen Gegenden als ein Glied der Urformation auftritt, und mit dem primitiven Gneiße durch petrographische Übergänge und durch Wechsellagerung so innig verbunden erscheint, daß eine Trennung beider Gesteine ganz unmöglich sein würde. Der Gneiß verliert nämlich seine Parallelstruktur, indem die Glimmerblättchen eine ganz regellose Lage annehmen, oder auch die lagenweise Sonderung der Gemengteile verschwindet, und so entsteht ein mehr oder weniger ausgezeichneter Granit, welcher, ohne gerade innerhalb seiner selbst geschichtet zu sein, doch in schichtenähnlichen, zum Teil sehr mächtigen Parallelmassen zwischen dem Gneiße eingelagert ist, mit welchem er beständig zu alternieren pflegt. So bildet denn dieser dem Gneiße untergeordnete Granit mit ihm selbst ein ganzes, ein einziges, ungeteiltes und unteilbares Formationsglied ... Besonders sind es die tieferen Etagen mancher Gneißdistrikte, in welchen häufige Übergänge in granitische Gesteine, und beständige Oszillationen zwischen Gneiß und Granit vorkommen.“ Und Zirkel sagte in seinem „Lehrbuch der Petrographie“[2]): „Von den Übergängen, welche der Gneiß aufweist, ist der in Granit der häufigste und jedenfalls in genetischer Hinsicht wichtigste. Bei diesen so unverkennbar und so reichlich auftretenden Übergängen können beide Gesteine kaum voneinander getrennt werden, sondern müssen als gleichzeitig und gleichartig entstanden erachtet werden.“ Derselbe berühmte Mineralog sagt ferner auf derselben Seite: „Manche Gneiße sind in der Tat gar nichts anderes, als eine zugehörige Umhüllung, eine Grenz- oder Kontaktmodifikation von eruptiven Granitmassen. Es ist

[1]) „Lehrbuch der Geognosie“, II, Leipzig 1854, Seite 83.
[2]) II, Bonn 1866, Seite 429. (2., gänzlich neu verfaßte Auflage. Leipzig 1893/94.)

bekanntlich eine öfters vorkommende Erscheinung, daß die Zentra von Eruptivgesteinen ein körniges, die Peripherien ein schieferiges Gefüge darbieten", und „solche abweichende Textur-Ausbildungen müssen an den Grenzen einer größeren Eruptivmasse gewissermaßen mit Notwendigkeit vor sich gehen".

Übrigens ist die flächenmäßige Parallelstruktur des Gneißes, welche allein seinen petrographischen Unterschied vom Granit darstellt, etwas ganz Anderes, als das Gefüge der schieferigen Sedimentgesteine, die aus Wasser abgelagert wurden. Bei den Schiefern sind die Gemengteile in der Form dünner Lagen oder Blätter angeordnet, während der Gneiß als ein breitgedrückter oder ausgewalzter Granit betrachtet werden muß, bei welchem keine eigentliche, durchgängige Parallelstruktur besteht. Die Mineral-Aggregate des Gneißes haben bekanntlich meist linsenförmige Gestalten, die von dünnen Lagen von Glimmer umhüllt sind, im übrigen aber gewöhnlich regellos durcheinander liegen.

Im Einklange mit all diesen Ergebnissen kann man sich betreffs der Bildung der Alpen und ähnlicher Gebirge denken, daß der Gneiß zusammen mit dem Granit aus der Tiefe emporgedrängt wurde, dabei die überdeckenden Schichten hob, beiseite schob und faltete. Zahlreiche Klüfte ließen hier zuerst mächtige vulkanische Eruptivmassen aufsteigen, denen später Granite und Gneiße folgten. Seine Parallelstruktur kann der Gneiß entweder aus der Tiefe mitgebracht[1]) oder erst oben infolge der seitlichen Pressung und Streckung bei der Injektion empfangen haben. Die aufgerichteten Fächerformen der Massive entsprechen, wie man sieht, den durch die hier beigegebene Abbildung (Seite 52) veranschaulichten Gestalten, die von den Passivplutonisten als Faltungsreste betrachtet werden.

Auch im Großen nehmen die Granite eine Struktur in der Richtung des Aufsteigens an, entsprechend den soeben erwähnten Formen, was als weiterer Beleg für die Anschauung der eruptiven Natur der plutonischen Gebirgsstöcke und der Gneiße gelten kann. Ich meine hier die Absonderungsgestalten, die

---

[1]) Der Gneiß hat sich seiner Hauptmasse nach möglicherweise im Sinne Dr. Heinrich Otto Lang's („Die Bildung der Erdkruste", Halle 1873, insbesondere Seite 49) in der Tiefe gebildet, indem er sich entogä aus dem Granit-Magma entstehend der Erdkruste anlagerte.

man an granitnen Felsengebirgen häufig findet. Es spalten sich aufrechtstehende Riesensäulen und Mauern von der Hauptmasse ab, oder das ganze Massiv teilt sich in Pfeiler und Wände, von denen dann die in ihrer Mittel-Achse lotrecht stehenden am längsten dem Zahn der Zeit trotzen. So sehen wir die granitnen Stöcke des Sinai „mit spitzen Zinken in den Äther ragen“ (G. v. Rath). So steigen in der hohen Tatra granitne Wände fast senkrecht an 1000 Meter hoch über die Spiegel der Seen dieser Gebirgslandschaft empor, sich zersplitternd in unzählige, säulen- und nadelförmige Felsenzacken. Beim Montblanc stützen und tragen granitische Riesenpfeiler den gewaltigen domförmigen Gipfel, von denen mehrere vom Gebirgskörper sich ablösen und als ungeheure Felsentürme und frei aufragende Nadeln erscheinen, wie namentlich die Aiguilles rouges und vertes.

Ferner zeigen die steilen Abstürze und Einschnitte, die wir in den Granitgebirgen so vielfach antreffen, wenigstens andeutungsweise diese Formen. Das Riesengebirge, die höchste Erhebung des mächtigen Grenzwalles zwischen Schlesien und Böhmen, erscheint in 600 bis 800 Meter hohen Abstürzen durch den Melzergrund und den Riesengrund in zwei Hauptstöcke gespalten, nur verbunden durch den schmalen Steg des „Kammes“. Vom Ramberg im Harz ist ein gewaltiger Teil im Nordwesten abgespalten, so daß eine vielgekrümmte, über 500 Meter tiefe Talschlucht entstanden ist, die von der durchfließenden Bode den Namen hat.

Wie hier und an zahlreichen anderen Stellen im kleineren Maßstabe, so mögen auch Absonderungen größerer Dimensionen vorkommen. Bisweilen werden sich große Gebirgsmassive gespalten haben. Das Rheintal von Basel bis Straßburg und Rastatt wird von den Passivplutonisten als eine „Grabenversenkung“ erklärt, und die Gebirge zu beiden Seiten, Vogesen und Schwarzwald, werden als „Horste“ betrachtet, die an den Rändern der Versenkung stehen geblieben sind. Ich halte es jedoch für wahrscheinlich, daß wir in diesem Zwillingsgebirge ein derartiges Massiv vor uns haben, dessen vielleicht 6 bis 10 Meilen tiefgehende Spaltung, anfänglich schmal wie die Kluft der 1883 gespaltenen Insel Augustin, sich oben allmälig zu der jetzigen Breite des Rheintals von über 5 Meilen erweiterte, wobei die

Klüftung sich nach und nach mit sedimentären Ablagerungen füllte. Der von Laspeyres gezeichnete Querschnitt (reproduziert in Credner's „Elementen der Geologie", 6. Aufl., Seite 184) ist für diese Anschauung eine gute Stütze.

Für sich betrachtet zeigen die beiden Gebirge, welche das Rheintal bilden, gleich dem sächsischen Erzgebirge, asymmetrischen Bau. Diese Form ist, wie bekannt, von den Passivplutonisten als einer der stärksten Beweise gegen die Lehren der Entstehung der plutonischen Gebirge durch Erhebung hingestellt worden. Demgegenüber möchte ich hier noch sagen, daß ein einseitiger Bau bei einem Gebirge auch bei eruptiver Entstehung resultieren kann. Ja man muß behaupten, daß der genau symmetrische Bau nur in den seltensten Fällen möglich ist. Wird eine festgewordene Gebirgsmasse nach der Seite 39ff. gegebenen Darlegung weiter durch nachdrängende Massen gehoben, so kann dies nur unter einer scheerenden (verwerfenden) Bewegung des aufsteigenden Massivs aufwärts vorbei an den anstehenden Gesteinen stattfinden, und zwar wird diese Bewegung auf derjenigen Seite ein größeres Maß erreichen, auf welcher die Reibung dieser Scheerung zufällig die geringere, oder auf welcher relativ oder absolut der stärkere Antrieb wirksam ist. Es muß dann zu einer einseitigen Gebirgserhebung kommen. Auch zahlreiche andere Umstände können dabei mithelfen, namentlich gleichzeitige Hebung des Landes auf der einen Seite, die sich dann mit der Gebirgserhebung kombiniert. Daß jedoch auch durch Spaltung einseitige Gebirge entstehen können, zeigt das vorhin erwähnte Beispiel der Vogesen und des Schwarzwaldes.

